UNIVERSITE DE DIJON
Faculté des Sciences

Laboratoire de Productions Animales
E.N.S.S.A.A.

THÈSE

DE DOCTEUR-INGENIEUR

présentée

à l'UNIVERSITE DE DIJON

par

Claude MASSON

pour obtenir le grade de DOCTEUR-INGENIEUR

INFLUENCE DU MODE DE CONDITIONNEMENT DES FOURRAGES DESHYDRATES SUR LES PHENOMENES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA DIGESTION DANS LE RUMEN DE MOUTON

Soutenue le 12 Avril 1974 devant la Commission d'Examen

Président, M. BEZARD

Examinateurs, MM. CANDAU
LEMARCHAL
TISSERAND

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549827_0011

UNIVERSITE DE DIJON
Faculté des Sciences

Laboratoire de Productions Animales
ENSSAA.

THÈSE

DE DOCTEUR-INGENIEUR

présentée

à l'UNIVERSITE DE DIJON

par

Claude MASSON

pour obtenir le grade de DOCTEUR-INGENIEUR

INFLUENCE DU MODE DE CONDITIONNEMENT DES FOURRAGES DESHYDRATES SUR LES PHENOMENES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA DIGESTION DANS LE RUMEN DE MOUTON

Soutenue le 12 Avril 1974 devant la Commission d'Examen

Président, M. BEZARD

Examinateurs, MM. CANDAU
LEMARCHAL
TISSERAND

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Je remercie très vivement les membres du Jury :

Monsieur J. BEZARD, Professeur à la Chaire de Physiologie animale de la Faculté des Sciences de DIJON,

Monsieur M. CANDAU, Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de TOULOUSE,

Monsieur P. LEMARCHAL, Professeur à l'Institut Universitaire de Technologie de Biologie de DIJON,

Monsieur J.L. TISSERAND, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques Appliquées de DIJON,

d'avoir bien voulu se charger de la tâche ingrate qui a été la leur en lisant et en critiquant ce travail.

Je serai d'abord très reconnaissant à l'égard de Monsieur le Professeur J. BEZARD pour le grand honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider cette thèse.

Monsieur M. CANDAU, qui a très aimablement accepté de se déplacer, a acquis le droit à ma profonde gratitude. Il m'a fait bénéficier de sa grande habileté expérimentale et c'est grâce à lui que fut réalisée la délicate partie chirurgicale de mes travaux.

Ce travail a été effectué au Laboratoire de Zootechnie dirigé par Monsieur le Professeur J.L. TISSERAND, auquel je tiens à rendre hommage. Je lui dois mon initiation à la recherche scientifique et mon orientation vers la Nutrition et la Physiologie.

Mes remerciements vont également à tous ceux, chercheurs, techniciens, ouvriers, qui m'ont aidé dans la poursuite de mes travaux. Je tiens à exprimer ma reconnaissance, tout particulièrement, à Mademoiselle CORDELET dont l'assistance technique et le dévouement me furent d'un grand secours, et à Madame KEMPF qui a eu la lourde tâche de dactylographier ce travail.

- S O M M A I R E -

Pages

INTRODUCTION 1

PREMIERE PARTIE : MISE au POINT BIBLIOGRAPHIQUE 3

Chapitre I - Particularités de la digestion chez le ruminant 4

A/ Particularités anatomiques du tube digestif 4

B/ Particularités physiologiques de la digestion 5

1°) Les grands processus de la digestion 5
2°) Evolution des acides gras volatils au niveau du rumen 8

Chapitre II - Influence du mode de conditionnement des fourrages sur la physiologie digestive du ruminant 9

A/ La granulométrie des fourrages 9

B/ Le comportement alimentaire 10

a) Le niveau d'ingestion

1°) Influence de la forme de présentation
2°) Influence de la finesse de broyage 13
3°) Influence de la nature de l'espèce fourragère 14
4°) Influence de la qualité du fourrage

b) Le comportement alimentaire 15

1°) L'augmentation de la fréquence des repas
2°) Diminution du temps de consommation 16
3°) Diminution du temps de rumination

C/ L'utilisation digestive des fourrages 18

a) Diminution de la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique

b) Diminution de la digestibilité de la cellulose brute 22

Pages

D/ Les fermentations dans le rumen 24

a) Le pH 24

b) La flore microbienne 25

c) Les produits terminaux de la digestion 26

1°) Vitesse de fermentation et activité fermentaire du rumen 26

2°) Quantité et composition des A.G.V. 28

E/ Etat de santé des animaux 32

Conclusion 34

DEUXIEME PARTIE : CONDUITE des ESSAIS et TECHNIQUES EXPERIMENTALES

Introduction 36

Chapitre I - Choix du matériel 37

A/ Les animaux 37

B/ Les aliments 37

Chapitre II - Schéma expérimental 38

Chapitre III - Techniques expérimentales 38

A/ Fistulation des animaux 38

B/ Comportement alimentaire 39

1°) Mesure des quantités ingérées 39

2°) Enregistrement du comportement alimentaire 40

C/ Digestion dans le rumen 40

1°) Prélèvement du contenu du rumen 40

2°) Mesures in vitro "Technique du rumen artificiel" 41

3°) Mesures in vivo 42

Chapitre IV - Méthodes d'analyse biophysique et biochimique 43

A/ La granulométrie 43

B/ Analyses chimiques 43

1°) Teneur en matière sèche

2°) Teneur en matières minérales

3°) Teneur en matières azotées totales 44

4°) Teneur en matières cellulosiques

5°) Dosage des acides gras volatils

Pages

TROISIEME PARTIE : RESULTATS EXPERIMENTAUX : 46

Influence de nouvelles formes de présentation des fourrages déshydratés (fourrage haché, comprimé et compacté) sur la digestion chez le ruminant.

Chapitre I - La composition chimique des fourrages 47

Chapitre II - La granulométrie des fourrages 50

Chapitre III - Le niveau d'ingestion 54

a) La finesse de broyage 55
b) La nature du fourrage
Discussion - Conclusion 56

Chapitre IV - Le comportement alimentaire 60

A/ Prise de nourriture

B/ Rumination 64
Discussion - Conclusion 65

Chapitre V - La digestion dans le rumen 69

A/ Etudes "in vitro" 70

1°) Activité cellulolytique 70
2°) Production d'acides gras volatils 71

a) Acides gras volatils totaux (AGV_+) 71
b) Acide acétique 72
c) Acide propionique 74
d) Acide butyrique 75

Discussion - Conclusion 77

B/ Etudes "in vivo" 79
1°) Le pH 79

2°) La production d'acides gras volatils totaux 84

3°) La production d'acides gras volatils individuels 88
a) Acide acétique
b) Acide propionique 89
c) Acide butyrique 90

Discussion - Conclusion 94

RESUME - CONCLUSIONS GENERALES 95

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 99

I N T R O D U C T I O N

L'alimentation des ruminants se fait traditionnellement à base de fourrages. Ces derniers sont, le plus souvent, consommés en vert pendant la période estivale mais doivent être partiellement conservés pour la saison hivernale. Le choix du système de conservation pose un problème technico-économique majeur pour l'éleveur. Cet aspect a pris de l'importance durant ces dernières années, en fonction de l'intensification fourragère et de l'accroissement des troupeaux restant en stabulation toute l'année.

Il existe deux grandes catégories de procédés de conservation : l'ensilage ou voie humide et la dessiccation ou voie sèche.

Dans le cas de la voie sèche, et plus particulièrement de la déshydratation, la manutention et le stockage des fourrages conservés sont, pour l'éleveur, deux points importants. Pour faciliter la tâche de ce dernier et pour minimiser les pertes entre la déshydrateuse et l'auge (de l'animal), le conditionnement de ces fourrages est nécessaire.

Depuis longtemps, il existe des fourrages conditionnés appelés fourrages condensés, c'est-à-dire des fourrages broyés et agglomérés dans une presse à filières ; ils se présentent sous forme de petits cylindres de 5 à 10 mm de diamètre et 10 à 20 mm de hauteur. Cependant, ce conditionnement entraîne des modifications de la valeur alimentaire du fourrage (BLAXTER et GRAHAM 1956, MINSON 1963, MOORE 1964, BEARDSLEY 1964, MEYER et al 1965) qui se manifestent par :

- une augmentation des quantités ingérées par le ruminant et une diminution de la digestibilité,

- une diminution du temps de rumination suivie d'une salivation moindre entraînant une variation des fermentations dans le rumen et des ennuis digestifs.

.../...

Ces modifications du faciès fermentaire du rumen se traduisent en particulier par des variations des principaux produits terminaux de la digestion, l'acide acétique et l'acide propionique, qui sont susceptibles de modifier l'utilisation énergétique des fourrages (BLAXTER et al, 1956).

Devant ces inconvénients, il semble intéressant de rechercher d'autres modes de conditionnement laissant subsister une plus grande quantité de particules grossières et permettant une digestion aussi normale que possible.

C'est ainsi qu'il est apparu deux nouveaux types de fourrages conditionnés :

- les fourrages compactés sont agglomérés directement dans une presse à filières sans broyage préalable ; ils se présentent sous la même forme que les fourrages condensés mais leur structure est plus grossière ;

- les fourrages comprimés sont agglomérés dans une presse à piston sans broyage préalable ; ils se présentent sous forme de cubes ou de parallélépipèdes de quelques centimètres de côté et de 10 mm d'épaisseur.

Actuellement, l'utilisation par le ruminant de ces nouvelles formes de présentation des fourrages est encore mal connue. Seul DEMARQUILLY (1967-1968) a obtenu des résultats à l'aide de presse expérimentale mais la technologie ayant fait des progrès (diminution du malaxage dans la presse), il est possible que les conclusions de ces étude puissent être modifiées.

C'est la raison pour laquelle une série d'expériences est entreprise depuis 1969 avec des fourrages déshydratés compactés et comprimés en référence à un témoin de fourrage haché. Ces essais ont pour but d'étudier le type de conditionnement caractérisé par la granulométrie des fourrages convenant le mieux au ruminant. Pour ce faire, nous réalison deux types de mesures sur des moutons munis de fistule du rumen :

- des mesures biophysiques in vivo visant à apprécier le comportement alimentaire de l'animal nourri avec ces différents fourrages ;

- des mesures in vitro et in vivo basées sur des critères chimique et essentiellement la production des différents acides gras volatils (acides acétique, propionique et butyrique).

PREMIERE PARTIE :

MISE AU POINT BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I - PARTICULARITES de la DIGESTION chez le RUMINANT

A/ Particularités anatomiques du tube digestif :

Elles sont décrites dans de nombreux ouvrages : LE BARS, JACQUOT, SIMMONET 1950, DOUGHERTY 1955, DUKES 1969, PHILIPSON 1971.

1°) L'estomac des ruminants est constitué de quatre compartiments dont trois préestomacs (le rumen, le réseau et le feuillet) et un estomac vrai (la caillette) qui occupent les 3/4 de la cavité abdominale.

Le rumen ou panse est un vaste réservoir qui représente 80 % de la masse totale de l'estomac ; il occupe plus de la moitié gauche de la cavité abdominale. La surface intérieure est constituée par un épithélium stratifié hérissé de papilles de forme variable, nombreuses, serrées les unes contre les autres.

La jonction gastro-oesophagienne ou cardia est située en région dorsale à la limite du réseau et du rumen ; elle est prolongée par un double bourrelet musculaire constituant une gouttière : la gouttière oesophagienne.

Le réseau ou réticulum est une partie en communication avec le rumen par l'orifice rumino-réticulaire. Sa muqueuse, de type alvéolaire, est très caractéristique.

Le feuillet ou omasum est un organe globuleux, situé au-dessous et à droite du réseau. Il est cloisonné par une série de lames muqueuses.

La caillette ou abomasum communique avec le feuillet par un large orifice limité par des plis muqueux. Elle est le seul réservoir comportant une muqueuse glandulaire, molle, et plissée sur toute son étendue.

.../...

2°) La masse intestinale est rejetée du côté droit par suite du développement important des réservoirs gastriques. On distingue le duodenum, le jejunum et l'iléon dont la partie terminale rectiligne se termine dans le caecum.

Le caecum est un cul de sac à paroi lisse.

Le gros intestin a un volume faible par rapport à celui du gros intestin d'autres herbivores (cheval).

Le colon comprend deux parties : le colon sigmoïde de fort calibre et le colon spiral qui s'enroule sur lui-même en 3 spires centripètes et 3 spires centrifuges.

B/ Particularités physiologiques de la digestion :

1°) Les grands processus de la digestion :

Les aliments, mastiqués et insalivés une première fois, passent dans le rumen où ils vont subir la digestion microbienne, la paroi ne renfermant pas de glandes digestives. Cette activité microbienne est facilitée par la régurgitation du bol alimentaire qui subit une deuxième mastication dite mérycique et une insalivation plus importante.

Les glucides et en particulier la cellulose sont dégradés en acides gras volatils (schémas 1, 2, 3). Parallèlement, il y a production de gaz (CH_4, CO_2) qui sont évacués par éructation.

La proportion relative des différents acides gras volatils varie avec le régime alimentaire (MINSON, 1963).

Parmi les matières azotées, les protéines sont plus ou moins remaniées par la microflore du rumen. Elles sont dégradées en acides aminés libres puis en ammoniac.

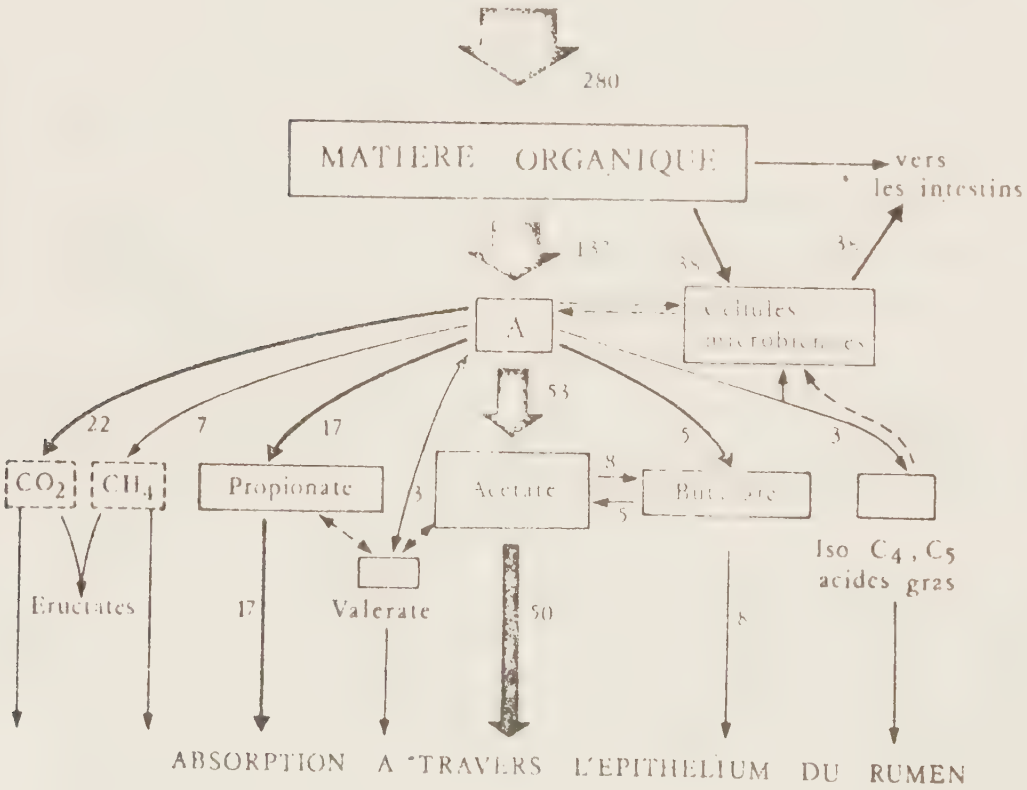
Cet ammoniac formé s'ajoute à l'ammoniac provenant de l'azote soluble de la ration. Il est alors partiellement utilisé pour la synthèse d'acides aminés puis de protéines microbiennes si les glucides solubles sont en quantité suffisante pour fournir les chaînes carbonées et l'énergie nécessaire. L'ammoniac en excès est absorbé à travers la paroi du rumen, transporté au foie par la veine porte où il est transformé en urée, éliminée par les urines, ou recyclé dans le rumen soit par la salive soit par diffusion épithéliale.

SCHEMA 1 : Modèle de dégradation de la matière organique et distribution du carbone à partir du rumen.

A : C provenant de la matière organique et des acides aminés

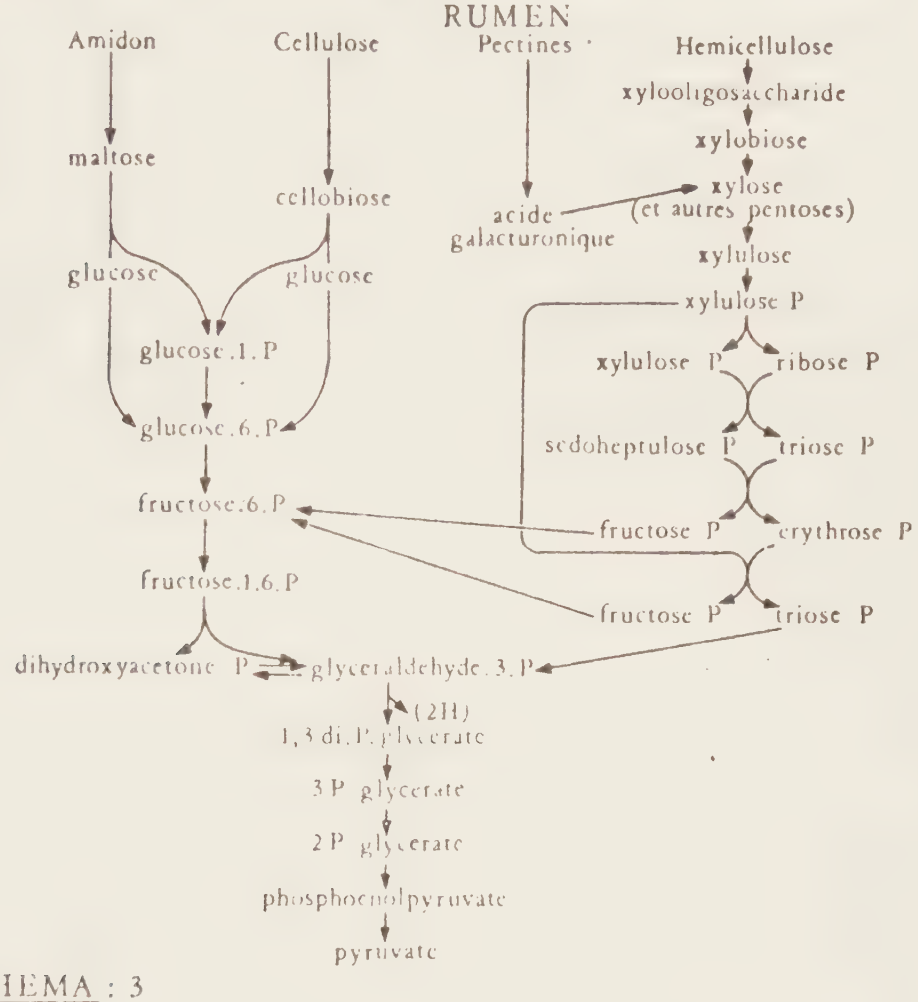
↓17 : mg de C/mn, calculée à partir des relations stœchiométriques entre la fermentation des glucides et la production d'A.G.V.

Rapporté par LENG (44)



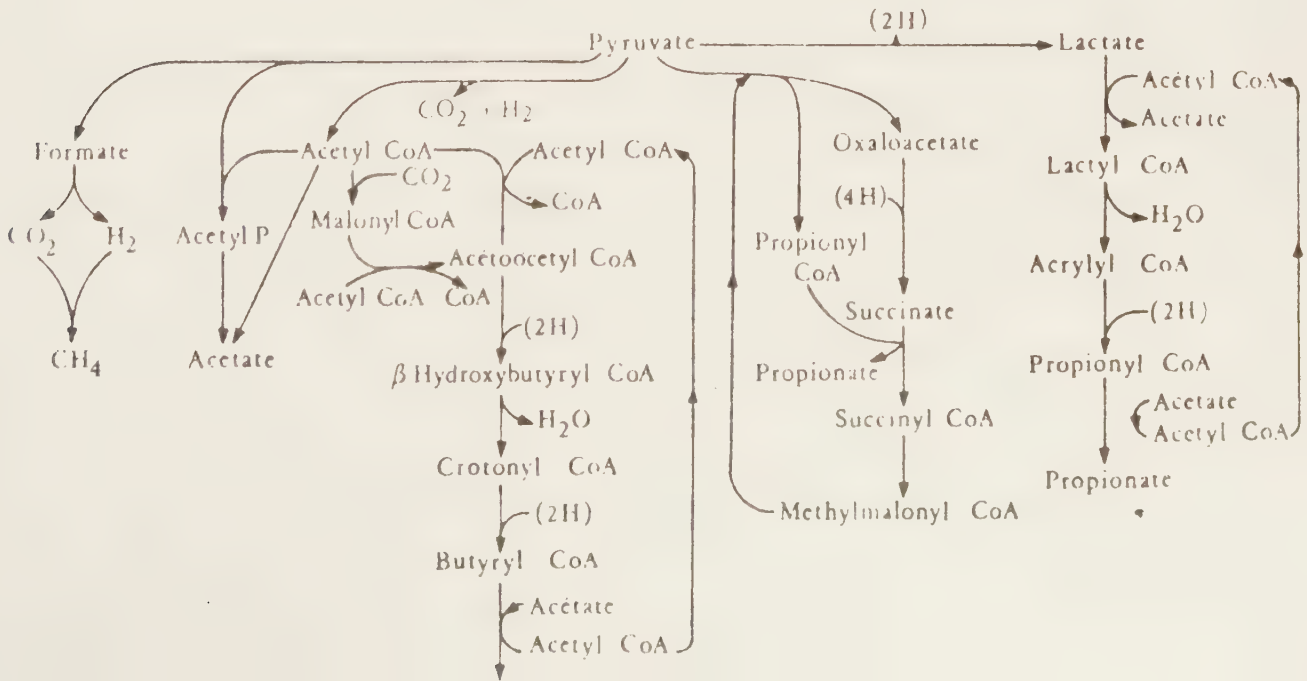
SCHEMA : 2 d'après R.A. LENG (44)

SCHEMA GENERAL DE FERMENTATION DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS GLUCIDIQUES DES PLANTES EN COMPOSES A 3 CARBONES DANS LE RUMEN



SCHEMA : 3

SCHEMA GENERAL DE DEGRADATION DES COMPOSES A 3 CARBONES DANS LE RUMEN



Le résultat de la digestion microbienne dans le rumen est la dégradation d'environ 85 % de la matière sèche totale digestible, 80 % des glucides membranaires digestibles, 100 % des glucides cytoplasmiques, 85 % des protides.

Lorsque les aliments sont réduits en fines particules, ils passent dans le feuillet où on observe une résorption d'eau et une faible absorption d'acides gras volatils.

Arrivés dans la caillette, véritable estomac chimique, les ingesta subissent une réhydratation par suite d'une sécrétion importante de sucs gastriques qui assure une digestion enzymatique. Cette dernière se poursuit dans l'intestin grêle sous l'influence de l'apport de bile et de suc pancréatique.

Dans le caecum, on a une nouvelle digestion microbienne qui se traduit par la production et l'absorption d'acides gras volatils.

2°) Evolution des acides gras volatils (A.G.V.) au niveau du rumen :

La mesure de la concentration des A.G.V. présents dans le rumen n'est qu'une approche de celle de la production réelle puisqu'au fur et à mesure de leur formation ils sont soit absorbés, et parfois métabolisés par la paroi du rumen, soit remaniés à l'intérieur même du rumen, soit utilisés par les microorganismes. Divers auteurs (WESTON, HOGAN, 1968) ont établi des relations linéaires entre la concentration et la production. Aussi, nous adopterons les concentrations molaires d'A.G.V. dans le rumen comme indice de leur production.

En général, la concentration en A.G.V. est maximum entre 2 et 4 heures après le repas. Cependant, le régime a une influence très importante sur cette production d'A.G.V.. Pour les régimes riches en concentrés, la concentration en A.G.V. dans le jus de rumen, 2 heures après le repas, est plus élevée que pour des régimes à base de foin normal.

De plus, le régime a également une influence sur la proportion des AGV, ce qui entraîne des modifications du métabolisme. Les régimes riches en concentrés, par rapport aux régimes à base de foin, favorisent la production d'acide propionique aux dépens de celle d'acide acétique (MINSON 1963, DEMARQUILLY et JOURNET 1967, COTTYN et BOUCQUE 1968)

CHAPITRE II - INFLUENCE du MODE de CONDITIONNEMENT des FOURRAGES sur la PHYSIOLOGIE DIGESTIVE du RUMINANT

A/ La granulométrie des fourrages conditionnés :

Le pressage des fourrages entraîne toujours un broyage qui est d'autant plus important que le fourrage est plus jeune et surtout plus sec. Toutes choses égales par ailleurs, les graminées sont plus sensibles que les légumineuses au passage dans la presse et la presse à piston respecte mieux la structure du fourrage que la presse à filières (tableau 1).

Fourrages	Taille moyenne	% de particules	
		> 1,25 mm	> 0,80 mm
Graminées			
hachée	1,35	60 (55 - 70)	88 (85 - 90)
comprimée	0,95	25 (20 - 30)	47 (45 - 50)
compactée	0,80	18 (15 - 25)	38 (30 - 45)
cond. 10 mm	0,40	2 (1 - 3)	8 (5 - 10)
3 mm	0,25	0	4 (3 - 7)
Luzerne			
hachée	2,15	67 (60 - 75)	80 (75 - 90)
comprimée	1,10	37 (30 - 45)	55 (45 - 60)
compactée	1,10	33 (30 - 40)	55 (50 - 60)
cond. 20 mm	0,80	20 (15 - 25)	42 (35 - 45)
3 mm	0,40	1,0 (0 - 3)	12 (10 - 15)

TABLEAU 1 - Influence du conditionnement sur la granulométrie des fourrages (DEMARQUILLY 1969)

.../...

En pratique, les fourrages compactés diffèrent peu des fourrages condensés ; le broyage dans le broyeur pour les condensés est remplacé, pour les compactés, par un broyage dans la presse. Seuls les fourrages comprimés semblent mieux conserver la structure des fourrages car ils renferment un pourcentage de particules grossières ($>$1,25 mm) plus important.

B/ Le comportement alimentaire :

Qu'il s'agisse de production de viande ou de lait, le facteur le plus important dans l'alimentation est l'apport d'énergie ; or, ce dernier est fonction, d'une part, du niveau d'ingestion de l'anima d'autre part de la valeur énergétique de l'aliment. Dans cette partie, nous rassemblerons les résultats obtenus sur le niveau d'ingestion et sur le comportement alimentaire.

a) Le niveau d'ingestion :

1°) Influence de la forme de présentation :

- Les fourrages condensés :

Les fourrages condensés font l'objet de nombreuses études et il est généralement admis que ces fourrages sont ingérés en quantité d'autant plus importante que les fourrages longs correspondants sont de qualité médiocre.

Dans l'étude de ces fourrages, il faut distinguer, d'une part l'influence du broyage et d'autre part celle de l'agglomération en tenant compte à la fois de la qualité du fourrage et de l'espèce fourragère. MEYER et al (1959) montrent, avec des ovins consommant de la luzerne à plusieurs stades de végétation, que le condensé est mieux consommé que le même foin haché. Il observe une augmentation de 31 % qu'il attribue au seul effet du broyage qui précède l'agglomération, celle-ci n'étant réalisée que pour faciliter par la suite les diverses manipulations. Mais cette hypothèse n'est pas vérifiée par de nombreux auteurs. WRIGHT et al (1963) montrent, au contraire, que le fait de condenser le fourrage provoque une augmentation de la consommation par rapport au déshydraté broyé, le broyage et l'agglomération

étant deux facteurs différents qui peuvent jouer l'un et l'autre sur la consommation. DEMARQUILLY et JOURNET (1967) obtiennent des résultats analogues et montrent l'influence du broyage et de l'agglomération avec des ovins.

L'augmentation dûe au broyage, par rapport au foin haché, est en moyenne de 33 % alors que le fait de condenser a entraîné une nouvelle augmentation de 27 % pour les deux foins de graminées et 11 % pour les deux foins de luzerne.

- Les fourrages compactés :

Les fourrages compactés se comportent de la même façon que les fourrages condensés : ils sont ingérés en plus grande quantité que les fourrages longs correspondants (DEMARQUILLY : TABLEAU 2).

TABLEAU 2 - Influence du conditionnement sur les quantités ingérées de luzerne et de graminées distribuées ad libitum (DEMARQUILLY 1966-67)

Fourrages		Forme de présentation	% de particules >1,25 mm	MS ingérée en g/kg $P^{0,75}$
LUZERNE	1966	Hachée	53,5	71,7
		Compactée	7,3	82,3
		Condensée 3 mm	1,9	91,3
	1967	Hachée	63,3	60,5
		Compactée	18,0	86,2
		Condensée 20 mm	9,5	88,5
		3 mm	0,1	84,0
Fétuque élevée		Hachée	61,6	55,3
		Compactée	15,0	65,1
		Condensée 10 mm	0,5	79,8
R.G.I.		Hachée	65,0	52,6
		Compacté	21,7	74,1
		Condensée 15 mm	1,0	84,6

.../...

- Les fourrages comprimés :

Certains auteurs, MEYER et al (1959), ADDIS (1959), BROWNING et al (1960), MAGILL (1960) trouvent peu de différences entre les quantités ingérées de "wafers" et celles de foin haché correspondant. Par contre, ROSS, FOURT, GEPHART (1959) notent que l'agglomération de foin détermine une augmentation des quantités consommées par des vaches en lactation de 2,59 kg/j. en moyenne. RONNING et DOBIE (1967) confirment le fait que des vaches laitières consomment davantage de foin de luzerne aggloméré (non broyé) que de foin long. Ils signalent une augmentation de 30 %.

	Foin long (ad libitum)	Foin aggloméré (ad libitum)
Quantités consommées en kg/j.	13,3	17,7

DEMARQUILLY, en 1966, enregistre chez des moutons une augmentation des quantités ingérées de fourrages comprimés par rapport à celles des mêmes fourrages hachés. Cette augmentation varie selon l'espèce, ainsi il note une augmentation de 17 % pour la fétuque et 30 % pour la luzerne.

Forme de présentation		MS ingérée en g/kg $P^{0,75}$
Fétuque élevée	Hachée	59,5
	Comprimée	70,0
Luzerne	Hachée	71,8
	Comprimée	90,0

D'après ce tableau, il apparaît que la luzerne comprimée est aussi bien ingérée qu'elle soit compactée ou condensée. En revanche, la graminée est ingérée en quantité plus faible que si elle est condensée.

.../...

Cette différence entre espèces est également rapportée par BROSSE, d'après des expériences réalisées à Lusignan (1969). Il rapporte que, pour les fourrages comprimés, le niveau de consommation augmente de 8,4 points, soit 15 % pour les graminées, et 16 points, soit 25 % pour les légumineuses.

M.S. ingérée en g/kg $P^{0,75}$		M.S. ingérée en g/kg $P^{0,75}$	
Fétuque élevée		Luzerne hachée	69,3
hachée	58,2		
comprimée	64,2	comprimée	89,5
Dactyle haché	56,4		
comprimé	67,0		
R.G.I. haché	58,4		
comprimé	66,8		

2°) Influence de la finesse de broyage :

Les quantités ingérées de fourrages augmentent avec la finesse de broyage jusqu'à une limite au-delà de laquelle elles cessent de croître et tendent même à diminuer. Cela doit probablement résulter d'ennuis digestifs liés à une trop grande proportion de particules très fines.

DEMARQUILLY (1969) note que les quantités ingérées semblent maxima pour les condensés de luzerne et de ray-grass passés à la grille de 20 mm et pour les condensés de fétuque passés à la grille de 10 mm. Elles correspondent respectivement à des ingestions limites de l'ordre de 91, 86 et 80 g MS/kg $P^{0,75}$.

Selon cet auteur, la granulométrie joue un rôle important et il signale que les pourcentages de particules de taille $>$ 0,40 mm permettant d'atteindre ces limites sont de l'ordre de 66, 54 et 30 respectivement pour la luzerne, le ray-grass et la fétuque.

.../...

TABLEAU 3 - Influence du conditionnement sur la quantité de M.S. ingérée pour des moutons (en kg/100 kg PV et % de forme hachée)

Nature du fourrage	Haché	Comprimé	Compacté	Cond.20 mm	Cond.10 mm	Cond. 3 mm
Luzerne	2,52 (2,16 à 2,88)	2,75 (2,16 à 3,06)	3,17 (2,70 à 3,60)	3,28 (3,06 à 3,60)		3,20 (3,06 à 3,38)
indice	100	109	126	130		127
Fétuque élevée	2,23 (1,80 à 2,63)	2,45 (2,16 à 2,88)	2,77 (2,62 à 3,33)	-	2,92 (2,84 à 2,99)	2,84 (2,81 à 2,88)
indice	100	110	124		131	127
R.G.I.	2,25 (1,90 à 2,65)		2,97 (2,62 à 3,33)	3,10 (2,80 à 3,34)		
indice	100		132	138		

DEMARQUILLY (1969)

3°) Influence de la nature de l'espèce fourragère :

CAMPLING (1963), BEARDSLEY (1964), DEMARQUILLY et JOURNET (1967 - 1969) notent des augmentations plus ou moins importantes de consommation entre les fourrages conditionnés et le foin long suivant les espèces fourragères.

D'une façon générale, la luzerne est consommée en plus grande quantité que les graminées mais l'augmentation du niveau de consommation provoquée par le conditionnement est plus importante chez les graminées.

4°) Influence de la qualité du fourrage :

MEYER et al (1960), MINSON (1963), DEMARQUILLY (1967) rapportent que le conditionnement entraîne une augmentation de la quantité ingérée d'autant plus importante que les fourrages hachés sont moins bien consommés, c'est-à-dire récoltés tardivement. Ainsi, une fétuque récoltée au stade "pleine épiaison", moins bien consommée sous forme hachée qu'une fétuque récoltée au stade "début épiaison", voit son niveau de consommation augmenter davantage avec le conditionnement et devenir équivalent aux condensés 10 mm et 3 mm (tableau 4).

TABLEAU 4 - Influence du stade de végétation sur la quantité ingérée (kg MS/100 kg PV)
(DEMARQUILLY 1969)

Date de récolte de la fétuque élevée	Hachée	Comprimée	Compactée	Cond.10 mm	Cond. 3 mm
Début épiaison	2,62	2,76	2,89	2,84	2,89
Pleine épiaison	1,85	2,12	2,67	2,96	2,82

Il apparaît donc que, si le stade végétatif entraîne des différences de quantités ingérées pour les fourrages hachés, ces différences se réduisent d'autant plus que la finesse de broyage augmente. Ainsi, la quantité de matière sèche ingérée sous forme de fourrages condensés est beaucoup plus indépendante de la qualité des fourrages hachés correspondants.

b) Le comportement alimentaire :

Le conditionnement entraîne d'importantes modifications du comportement alimentaire des animaux, et cela d'autant plus que les fourrages ont été réduits en plus fines particules. En général, les animaux passent moins de temps à consommer et à ruminer malgré les augmentations de la quantité ingérée. De nombreuses observations, faites sur ce sujet par BERANGER et JARRIGE (1962), RUCKEBUSCH (1963), CAMPLING et FREER (1966), DEMARQUILLY et JOURNET (1967), montrent que le broyage et l'agglomération ont une incidence à trois niveaux :

- sur le nombre de repas,
- sur le temps de consommation,
- sur le temps de rumination.

1°) Augmentation de la fréquence des repas :

BERANGER et JARRIGE (1962) observent que des boeufs à l'engrais alimentés avec du foin de luzerne consomment la ration broyée en un plus grand nombre de repas (9,3 au lieu de 6,4) de durée plus courte, plus égale, et plus régulièrement espacés au cours de la journée.

.../...

DEMARQUILLY et JOURNET (1967) constatent que des moutons recevant du foin haché de luzerne effectuent un petit nombre (6 à 8) de longs repas, par contre ceux recevant ad libitum du foin condensé effectuent un grand nombre (15 à 20) de petits repas.

Pour les expériences de 1969 avec des fourrages déshydratés, DEMARQUILLY observe que la fréquence des périodes est, dans l'ensemble, peu modifiée ; le nombre de repas varie :

de 7 à 10 avec du fourrage haché,
de 5 à 10 avec du fourrage comprimé,
et de 7 à 12 avec du fourrage condensé.
(tableau 5)

2°) Diminution du temps de consommation :

D'une façon générale, les durées d'ingestion de condensés et des compactés sont toujours nettement inférieures à celles du même fourrage haché. Le broyage des aliments puis leur agglomération déterminent une préhension plus rapide et une moindre mastication de ceux-ci.

DEMARQUILLY (1969) rapporte que le temps de consommation correspondant à une ingestion de 1 kg de M.S. diffère suivant la forme de présentation du fourrage, la finesse de broyage et la quantité de fourrage offerte (tableau 5). Le fourrage est consommé d'autant plus vite que le broyage est plus fin, et la luzerne condensée semble ingérée plus vite que les graminées condensées.

3°) Diminution du temps de rumination :

Le broyage du fourrage et son agglomération ont pour effet de diminuer le temps de rumination. Ceci est constaté par tous les auteurs mais l'importance de ce phénomène est variable.

RUCKEBUSCH et MARQUET (1963) réalisent une étude très complète du comportement alimentaire des bovins et des ovins. Ils estiment que la durée de rumination minimum s'observe 72 heures après l'ingestion.

.../...

Au-delà de 96 heures, il y aurait une adaptation individuelle d'une intensité très variable à la structure physique de l'aliment.

Ils rapportent que le broyage entraîne souvent la disparition quasi-totale de la rumination chez les bovins et chez les ovins ; ils constatent soit une rumination ou mastication mérycique, soit une pseudo-rumination ou rumination à vide.

FREER et CAMPLING (1965) notent que le broyage entraîne chez la vache laitière une disparition de la rumination ; cependant, ils observent quelques contractions secondaires et tertiaires au niveau du rumen.

Pour les fourrages compactés, DEMARQUILLY observe une importante diminution du temps de rumination, par rapport au foin haché (tableau 5). Cette réduction reste toutefois très comparable à celle entraînée par la consommation de condensés 20 mm ou 10 mm.

Quant aux fourrages comprimés, quelques études semblent montrer qu'ils ne modifient pas le comportement alimentaire, les temps de consommation et de rumination sont comparables à ceux observés avec les fourrages déshydratés longs.

TABLEAU 5 - Influence du mode de présentation des fourrages sur le comportement alimentaire — CHAUTARD CRZV Theix

FOURRAGES	PRESENTATION	COMPORTEMENT ALIMENTAIRE							
		Durée en % du temps total			Durée en mn. par kg de MS		Fréquence des périodes		
		cons.	rumi.	repos	cons.	rumi.	cons.	rumi.	repos
LUZERNE	Haché	9,7	32,4	57,8	83	281	7	15	19
	Comprimé	10,7	27,2	62,2	94	240	5	14	17
	Compacté	6,2	22,9	70,7	41	156	7	12	17
	Cond.20 mm	5,3	18,1	77,2	34	103	9	11	19
	Cond. 3 mm	6,7	0,9	92,3	43	5	11	1	13
FETUQUE ELEVEE	Haché	17,1	33,1	49,8	139	267	11	15	22
	Comprimé	11,5	32,1	56,3	86	249	10	20	28
	Compacté	5,7	12,9	81,3	44	97	9	15	24
	Cond.10 mm	9,2	8,9	81,7	68	62	12	9	21
	3 mm	8,4	1,0	90,2	67	6	12	2	14
RAY-GRASS ITALIE	Haché	11,7	36,8	51,4	85	276	7	20	22
	Compacté	5,2	23,3	71,4	32	151	4	13	15
	Cond.20 mm	6,8	17,9	75,2	41	110	7	12	17
	10 mm	5,5	11,7	82,7	36	79	7	9	13

C/ L'utilisation digestive des fourrages :

Tout comme pour le niveau de consommation, l'influence du conditionnement sur l'utilisation digestive est surtout étudiée avec les fourrages condensés.

Dans tous les cas ou presque, une diminution de digestibilité de la matière sèche, de la matière organique et de la cellulose est signalée.

a) Diminution de la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique dûe au broyage et à l'agglomération :

1°) Les fourrages condensés :

La plupart des auteurs, MINSON (1962), BEARDSLEY (1964), CAMPLING et FREER (1965-1966), HOGAN et WESTON (1967), DEMARQUILLY et JOURNET (1966-1967), COTTYN et BOUCQUE (1968) observent une diminution de la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique.

Dans quelques expériences, cette baisse de digestibilité est attribuée au fait que les animaux peuvent choisir dans le foin long les particules les plus digestibles.

Pour d'autres, elle est dûe à la finesse de broyage, laquelle est associée à une plus grande vitesse de transit dans le rumen Ainsi, DEMARQUILLY et JOURNET (1967) pensent que la diminution de la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique des fourrages dûe au broyage complété ou non par l'agglomération, varie suivant le niveau d'ingestion, la finesse de broyage et la nature du fourrage.

- Influence du niveau d'ingestion :

COTTYN et BOUCQUE (1968) étudient, à partir de deux fourrages de qualité différente (R.G.I.), l'influence du niveau alimentaire de "pellets" de foin sur la digestibilité de deux régimes, l'un au niveau d'entretien (V_2 - V_8) et l'autre à 30 % au-dessus (V_9 - V_{10}). Les résultats du tableau 6 montrent que la digestibilité de tous les éléments nutritifs calculés diminue légèrement pour le régime (V_9 - V_{10}).

.../...

TABLEAU 6 - Influence du niveau alimentaire de pellets de foin sur les coefficients de digestibilité

Qualité du fourrage	1ère coupe fauchée tôt		2ème coupe fauchée tard	
Régimes	V_2	V_8	V_9	V_{10}
M.S.	67,3	64,6	47,6	44,2
M.O.	71,9	68,6	52,5	50,1
C.B.	73,2	65,1	56,7	53,7

Par ailleurs, la digestibilité des foins condensés distribués en quantité limitée (égale à celle ingérée sous forme de foin long) diminue moins vite que celle des foins distribués ad libitum. Avec des fourrages déshydratés, DEMARQUILLY observe le même effet, comme le montre le tableau 7. En moyenne, pour l'année 1968, il constate une diminution de 3,9 points contre 12 pour les condensés 3 mm de fétuque, - 2,6 contre - 6,8 pour les condensés de ray-grass et + 1,2 contre 3,5 pour les condensés 3 mm de luzerne.

TABLEAU 7 - Influence de la nature du fourrage et de la quantité offerte sur la digestibilité

Fourrages	Forme de présentation	Haché	Aggloméré ad libitum	Aggloméré limité
		C.U.D. - M.O.	C.U.D. - M.O.	C.U.D. - M.O.
Ray-Grass	10 mm	72,4	64,3	67,9
	20 mm	61,3	55,8	61,6
Fétuque élevée	3 mm	73,2	61,8	69,0
Luzerne	3 mm	60,9	56,2	58,1
	-	58,4	52,7	57,8
	-	60,9	58,3	63,9
	-	60,8	58,5	62,1

.../...

- Influence de la finesse de broyage :

De nombreux auteurs (BLAXTER et GRAHAM, 1956, puis HAENLEIN et HOLDEN, 1965, CAMPLING et FREER, 1966, et DEMARQUILLY, 1967) relatent que la digestibilité des foins condensés distribués ad libitum o en quantité limitée diminue d'autant plus que les foins sont broyés plus finement.

2°) Les fourrages compactés :

L'action du compactage diminue la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique des fourrages dans les mêmes proportions que celle de la condensation pour la raison que nous avons déjà évoquée, à savoir un broyage non négligeable lors du passage dans la presse à filières (DEMARQUILLY, 1969).

Fourrages	Forme de présentation	% particules > 1,25 mm	Digestibilité M.O.
Luzerne (1967)	Hachée	63,3	60,9
	Compactée	18,0	57,2
	Condensée 3 mm	9,5	58,5
Fétuque élevée (2ème cycle)	Hachée	61,6	61,5
	Compactée	15,0	54,1
	Condensée 10 mm	0,5	51,4
R.G.I. (2ème cycle)	Hachée	65,0	64,6
	Compactée	25,7	57,9
	Condensée 15 mm	1,0	53,7

TABLEAU 8 - Influence du conditionnement sur la digestibilité des fourrages (DEMARQUILLY)

Toutefois, des expériences récentes (THOMSON D.J. and al, 1972) montrent que la forme physique du fourrage (luzerne condensée, compactée, hachée) n'a pas d'influence sur la digestibilité apparente de la matière organique mais sur les sites de la digestion de cette matière organique au niveau du tube digestif.

.../...

Ainsi, quand on passe du haché au compacté et au condensé, les quantités de matière organique digérée diminuent au niveau du rumen, augmentent au niveau de l'intestin grêle et sont identiques au niveau du caecum et du colon.

	Chopped (haché)	Cobbed (compacté)	Pelleted (condensé)
Digestibilité apparente de la matière organique (%)	60,6	61,0	60,5
Disparition de matière organique (%)			
avant l'intestin (rumen)	47,3	42,9	33,6
dans l'intestin	29,4	36,8	42,1
dans le caecum et le colon	23,3	20,3	24,3

TABLEAU 9 (THOMSON et al, 1972)

3°) Les fourrages comprimés :

La presse à piston préservant mieux la structure du fourrage que la presse à filières, la digestibilité des fourrages comprimés se trouve moins pénalisée que celle des fourrages compactés. Tous les auteurs ont trouvé une digestibilité des fourrages comprimés se rapprochant de celle des fourrages longs correspondants.

Nature du fourrage	Forme de présentation	% particules >1,25 mm	Digestibilité M.O.
Fétuque élevée	Hachée	69,2	60,1
	Comprimée		63,0
Luzerne	Hachée	56,2	56,7
	Comprimée		57,7

TABLEAU 10 - Digestibilité comparée des fourrages hachés et comprimés (DEMARQUILLY, 1966)

Des résultats obtenus, DEMARQUILLY conclut provisoirement que la digestibilité d'un fourrage conditionné est identique à celle du fourrage long ou haché correspondant, si le fourrage conditionné contient 50 % de particules de taille supérieure à 1,25 mm. Il pense même qu'on peut descendre en dessous et ceci semble se confirmer par les expériences de 1969, comme le montre le tableau suivant (tableau 11).

Nature du fourrage	Forme de présentation	% particules >1,25 mm	Digestibilité M.O.	Digestibilité C.B.
Fétuque élevée	Hachée	61,3	71,8	71,6
	Comprimée	24,3	70,6	71,0
Luzerne	Hachée	67,1	60,0	40,4
	Comprimée	37,4	59,8	43,9

TABLEAU 11 - Digestibilité comparée des fourrages hachés et comprimés (1969)

Toutefois, certains auteurs notent une diminution de la digestibilité des "wafers" par rapport au foin long ou haché. Ainsi, HAENLEIN et HOLDREN (1965) observent avec de la luzerne des baisses de 3 points pour la digestibilité de la matière organique et 6,7 points pour la cellulose brute.

	Foin haché	Wafers
M.S.	58,9	55,4
M.O.	60,4	57,3
C.B.	42,0	35,3

b) Diminution de la digestibilité de la cellulose brute :

Il apparaît très nettement, pour un grand nombre d'auteurs, que la digestibilité de la cellulose brute diminue parallèlement à celle de la matière organique mais de façon beaucoup plus importante pour les fourrages condensés et compactés que pour les fourrages comprimés (tableau).

Cette diminution est d'autant plus grande que le foin est broyé plus finement. DEMARQUILLY (1967) observe une baisse de 13,7 % avec du foin de luzerne pour broyage de 1,5 mm contre 8,2 % pour un broyage de 5 mm et avec un foin de pré 25,4 % contre 13,1 %. Pour les fourrages déshydratés, DEMARQUILLY (1969) fait les mêmes observation (tableau 12).

.../...

GRAMINEES		CUD CB	LEGUMINEUSES		CUD CB
Fétuque élevée	Hachée	71,6	Luzerne	Hachée	40,4
	Comprimée	71,0		Comprimée	43,9
	Compactée	61,5		Compactée	36,9
	Condensée 10mm	52,7		Condensée 20mm	35,2
	3mm	53,0		3mm	33,7
R.G.I.	Hachée	62,9			
	Compactée	46,7			
	Condensée 20mm	49,2			

TABLEAU 12 - Coefficient d'utilisation digestive de la cellulose brute des fourrages déshydratés (DEMARQUILLY, 1969)

Récemment, D.J. THOMSON and al (1972), au cours d'expériences précises, mettent en évidence l'influence de la forme physique du fourrage sur les différents sites de la digestion. Ainsi, on peut observer qu'une augmentation du pourcentage de particules fines de fourrage dans la ration entraîne, d'une part, une diminution de la digestion de la cellulose et de l'hémicellulose dans le rumen, mais, d'autre part, une augmentation de la digestion de ces deux constituants dans le caecum et le colon (voir tableau 13).

	Chopped (haché)	Cobbed (compacté)	Pelleted (condensé)
Digestibilité apparente de la cellulose (%)	58,0	59,5	59,0
Digestibilité apparente de l'hémicellulose (%)	52,1	51,8	54,6
Disparition de la cellulose (%)			
avant l'intestin	85,4	79,8	63,3
dans l'intestin	- 3,7	- 3,0	9,2
dans le caecum et le colon	18,3	23,2	27,5
Disparition de l'hémicellulose			
avant l'intestin	68,5	65,5	55,2
dans l'intestin	1,0	0,4	3,7
dans le caecum et le colon	30,5	34,1	41,1

TABLEAU 13.

A ce sujet, THOMSON and CAMMELL (1972) remarquent que le caecum de moutons nourris avec du fourrage condensé est plus développé que celui de moutons nourris avec le même fourrage haché.

D - Les fermentations dans le rumen :

Ce facteur semble être d'une grande importance pour expliquer certains phénomènes observés sur des animaux recevant une ration broyée et agglomérée.

En effet, nous savons que la constitution de l'appareil digestif chez les ruminants est telle qu'une part importante des constituants de la ration est digérée au niveau du rumen, sous l'action de microorganismes. Or, l'évolution de ces agents microbiens semble être influencée par la forme physique des rations. De nombreux auteurs, en étudiant d'une part la vitesse de dégradation des constituants de la ration, et en analysant d'autre part les composants des produits terminaux de la digestion, observent des modifications dûes à la forme de présentation des fourrages.

a) Influence sur le pH :

Dans une mise au point bibliographique, MINSON (1962) constate que de nombreux auteurs ont noté une diminution du pH du contenu du rumen lorsque les animaux en expérience sont nourris avec du fourrage broyé et aggloméré.

En 1961, HINDERS fait mention d'une chute de pH de 6,9 à 6,0 chez des vaches laitières nourries avec de la luzerne déshydratée en "pellets" au lieu de foin normal.

En 1961, CULLISON donne les chiffres suivants obtenus avec des boeufs nourris de foin de graminées sous forme longue, broyée, condensée.

	Foin long	broyé	Pellets	Pellets+paille
pH (lecture directe) sur électrode spécial dans l'animal vivant	6,28	5,35	5,22	6,45

.../...

DEMARQUILLY et JOURNET (1967) observent également cette diminution de pH (en moyenne 0,2 point). Ils attribuent cette diminution au fait que les animaux consommant du foin broyé salivent moins pendant l'ingestion et surtout pendant la rumination.

En effet, LE BARS (1968) estime que trois facteurs contribuent à faire diminuer la sécrétion salivaire avec des rations à base de fourrages conditionnés :

- la diminution de la durée de mastication,
- l'absence de rumination, facteur le plus important,
- l'absence d'aliments irritants dans le rumen ; on sait que les aliments grossiers se trouvant dans les premiers réservoirs gastriques stimulent la sécrétion salivaire en dehors des périodes de mastication.

PUTNAM et al (1966), cité par LE BARS, avec une ration granulée, observent une diminution de cette sécrétion de 14 %.

D'après WILSON et TRIBE (1963), cités par LE BARS, des particules d'une longueur supérieure à 1,5 mm sont nécessaires pour entraîner une sécrétion salivaire parotidienne normale.

b) Influence sur la flore microbienne :

La flore microbienne est assez mal connue, mais il est certain, comme l'a souligné HUNGATE (1966), qu'elle est fortement modifiée par l'alimentation.

Des précisions complémentaires sont données par CHALUPA (1965) opérant sur génisses fistulisées et analysant la flore du rumen ; il constate la disparition des protozoaires holotriches, au bout de 7 jours d'apport ad libitum de foin de graminées déshydraté et condensé.

GIESECKE et al (1965) confirme la disparition de nombreux protozoaires et note que le nombre total moyen de bactéries par g de jus de rumen passe respectivement de 5×10^{10} à $2,5 \times 10^{10}$ pour la ration semi-purifiée et la ration fourrage-concentré-aggloméré.

.../...

O'DELL (1967) émet l'hypothèse suivante : la réduction de sécrétion salivaire entraîne une diminution du pH qui serait responsable des transformations de la microflore du rumen. Le nombre total de bactéries augmenterait tandis que les bactéries cellulolytiques diminueraient.

Cette hypothèse est confirmée en 1970 par THORLEY et al qui réalise un comptage des bactéries contenues dans le jus de rumen de deux séries d'animaux. Une série recevait du foin long et l'autre du foin condensé. Leurs résultats montrent que le nombre de bactéries est plus grand dans le cas où les animaux reçoivent du fourrage condensé alors que, pour un même groupe, les cellulolytiques régressent. Ces résultats permettraient d'expliquer en partie la diminution très nette de la digestibilité de la cellulose avec les fourrages condensés.

c) Les produits terminaux de la digestion :

1°) Vitesse de fermentation et activité fermentaire du rumen :

La vitesse des fermentations dans le rumen peut s'estimer par la mesure de la quantité de gaz produite au cours de l'incubation de grosses quantités de contenu digestif.

DEMARQUILLY et JOURNET (1967), utilisant des vaches fistulisées, ont observé une quantité de gaz ammoniac plus élevée de 30 % avec du foin condensé qu'avec du foin normal.

COTTYN et BOUCQUE (1968) notent également une légère hausse du dégagement de gaz ammoniac en remplaçant du foin long par des pellets.

Ray-Grass d'Italie		pH	NH_3 mg/100 Ml
Foin long	jeune	6,81	43,43
	vieux	6,74	41,21
Pellets	jeune	6,40	45,25
	vieux	6,57	40,13

TABLEAU 14.

.../...

GAUSSERRES (1966) observe les quantités suivantes :

21 à 27 mg de NH_3/100 Ml de jus de rumen avec du foin long
27 à 32 mg " " " " " " " " avec des condensés

Pour DEMARQUILLY, la vitesse plus grande des fermentations des fourrages condensés peut être attribuée soit à une résistance moindre du fourrage à la digestion microbienne du fait de sa division, soit à une activité plus grande de la population microbienne, soit aux deux à la fois. L'activité fermentaire peut être caractérisée par deux méthodes : in vitro et in vivo.

Ainsi, DEMARQUILLY et JOURNET (1967) estiment, in vivo, l'activité cellulolytique du jus de rumen par la méthode des fils de coton, et la méthode des sachets de nylon.

Bien que les résultats soient différents selon la méthode, ils constatent qu'en moyenne l'activité cellulolytique est plus faible avec les fourrages broyés.

JOURNET, en étudiant l'influence du conditionnement des luzernes déshydratées sur l'orientation des fermentations dans le rumen, note les mêmes résultats à savoir que l'activité cellulolytique diminue en passant du fourrage long au fourrage condensé (voir tableau).

L'activité cellulolytique est mesurée par la dégradation (perte de matière sèche) au bout de 48 heures d'échantillons de paille broyée placée dans des sachets de nylon et introduits dans le rumen par une fistule.

Dans le tableau 13, elle est exprimée en % de celle obtenue avec un régime (45 % de paille dégradée en 48 heures).

Forme du fourrage	Broyage	Diamètre des agglomérés	Temps de rumination % 24 h.	Taille moyenne des particules	Activité cellulolytique
Condensée	3 mm	12	2	0,5	0,4
Cond.	20 mm	12	17	0,7	0,8
Compactée	-	12	27	0,8	0,10
Comprimée	-	50	33	0,9	1,0
Normale	-	-	37	1	1,25

TABLEAU 15 - Influence du conditionnement sur l'activité cellulolytique (JOURNET)

Dans ce tableau, on remarque que l'activité cellulolytique est en relation avec le temps de rumination (r = 0,90).

In vitro, l'activité cellulolytique peut être mesurée par la disparition de la cellulose vraie dosée par la méthode de KURSNER et HOFFER.

TISSERAND (1968) a montré que la capacité de dégradation de la cellulose de la population du rumen est diminuée, consécutivement à l'apport de fourrages condensés.

Fourrage consommé	Disparition de la cellulose vraie % avec substrat foin standard
Fourrage déshydraté haché	58,1
" condensé ad lib.	53,1
" condensé limité	52,6

Ce phénomène ne se produit pas avec le même aliment comprimé mais ceci demande à être confirmé.

2°) Quantité et composition des A.G.V. :

MEYER et al (1959), utilisant des techniques in vitro avec du jus de rumen et LEFFEL (1960) et Van SOEST, utilisant des techniques in vivo, notent une augmentation de la concentration en acides gras volatils ou A.G.V., tandis que LEFFEL (1960), MOODY (1962) et Van SOEST (1955) observent une augmentation de l'acide propionique aux dépens de l'acide acétique dans le jus de rumen des animaux de 30 mn à 4 h après une nourriture de pellets à la place de foin haché long.

WRIGHT et al (1963) insistent sur la modification de la répartition des A.G.V. avec les rations granulées ; le taux d'acide acétique est diminué, par contre la proportion d'acide propionique est augmentée.

TABLEAU 16 - Mesure des A.G.V. in vivo (en m.mole/l) (WRIGHT et al)

	Total	Ac.	P.	B.	$> C_4$	C_2/C_3
Pellet	215,1	39,2	98,3	70,5	7,1	0,4
Pellet écrasé	196,0	60,7	64,5	60,7	10,1	0,94
Broyé finement	189,3	90,0	54,0	45,3	-	1,67
Broyé grossièrement	173,3	98,5	47,0	23,5	4,3	2,12
Foin long	154,7	103,0	39,2	17,8	4,7	2,62

Pour KING et HENKEN (1962), c'est la diminution de la proportion d'acide acétique vis-à-vis de l'augmentation de l'acide propionique qui modifie les réactions digestives dans le rumen.

Ces expériences sont reprises de façon plus précise par WESTON et HOGAN (1967), DEMARQUILLY et JOURNET (1967), COTTYN et BOUCQUE (1968), et TISSERAND (1968-1969). Certes, ces auteurs observent avec le fourrage condensé une concentration en acides gras volatils du jus de rumen supérieure en moyenne d'environ 30 % ; par contre, la composition du mélange d'A.G.V. est peu modifiée.

WESTON et HOGAN (1967), en étudiant un foin de luzerne et un foin de graminées sous forme hachée et sous forme broyée, ne trouvent pas de modifications dans la composition des A.G.V.

	Foin de luzerne			Foin de graminées	
	Ad lib.	haché	broyé	haché	broyé
AGV totaux m.mole/l	113	130	56	56
Ac.ac. (% total)	62,7	64,5	63,8	64,2
Ac. P.	22,7	19,8	21,8	20,9
Ac. But.	10,1	11,2	11,9	12,5
Ac. Val.	4,5	4,5	2,5	2,4

TABLEAU 17.

COTTYN et BOUCQUE (1968), en utilisant l'influence de l'agglomération en pellets de ray-grass d'Italie sur les fermentations dans le rumen de béliers castrés, observent une hausse significative des A.G.V. totaux (33 %), une baisse de 4,5 % en moyenne de l'acide acétique, une hausse d'environ 10 % de l'acide propionique.

		Ac.	Prop.	Buty.	Iso. Val.	Val.	Totaux (m.éq./ 100 cc
foin	jeune	68,93	17,55	10,73	1,49	1,30	7,62
	vieux	66,84	19,13	11,39	1,37	1,27	7,60
pellet	jeune	64,40	20,02	13,12	1,28	1,18	9,91
	vieux	65,02	19,26	13,10	1,24	1,38	9,17

TABLEAU 18 - A.G.V. (% mol.) (COTTYN - BOUCQUE -1968-)

DEMARQUILLY et JOURNET (1967), avec du foin de luzerne condensé, note une concentration en A.G.V. supérieure de 30 %. Cette dernière croît davantage après le début du repas de 2,6 au lieu de 1,4 g/l et elle atteint plus tard une valeur maximum.

Des résultats de DEMARQUILLY (1969) sur différents fourrages déshydratés confirment les résultats précédents, c'est-à-dire que le conditionnement entraîne une augmentation de la concentration en A.G.V. maximum avec les condensés 3 mm mais la composition est peu modifiée.

De plus, peu de différences apparaissent entre luzerne et graminées (tableau 19). Toutefois, JOURNET et HODEN (1973) signalent un comportement différent du ray-grass déshydraté et de la luzerne utilisée comme aliment unique de la ration de vaches laitières. Les variation des pourcentages d'acide acétique, d'acide propionique et d'acide butyrique sont plus importantes avec le ray-grass déshydraté qu'avec la luzern déshydratée.

Mais, à côté de ces mesures in vitro, des mesures in vivo sont nécessaires ; en effet, étant donné l'absorption rapide dans le rumen des différents produits de fermentation, on peut s'attendre à une variation dans la composition et la concentration du jus de rumen durant le cycle de l'alimentation.

Des résultats de DEMARQUILLY (1967), COTTYN et BOUCQUE (1968), il ressort que le pH diminue au cours de la période qui suit le repas et atteint un minimum 4 h. après le repas pour les rations à base de foin long et 2 h. pour les rations à base de pellets.

L'évolution des acides gras totaux présente à peu près l'inverse de celle du pH ; l'évolution des acides gras individuels ne présente pas de tendance bien marquée.

Pour ces auteurs, ce sont les échantillons prélevés 2 à 4 h. après le repas qui donnent la meilleure image des produits de fermentation formés dans le rumen.

Récemment, THOMSON et al (1972) signalent l'importance du choix du moment de la prise d'échantillon de jus de rumen pour apprécier l'intensité et l'orientation des fermentations. Ainsi, au-delà de 24 h., ils observent aucune différence dans les proportions des trois principaux acides, acides acétique, propionique et butyrique, avec des rations à base de "pellets" et à base de foin long haché.

TABLEAU 19 - Influence du conditionnement sur la production d'acides gras volatils (A.G.V.)

FOURRAGES	MODE de PRESENTATION	A.G.V. TOTAUX	C_2 %AGV totaux	C_3 %AGV totaux	C_4 %AGV totaux
LUZERNE	Haché	75,9	67,6	22,8	8,4
	Comprimé	121,0	62,0	29,3	7,2
	Compacté	119,0	61,7	27,0	10,4
	Cond.20mm	107,3	62,0	24,4	12,6
	3mm	134,1	64,6	19,0	14,2
LUZERNE	Haché	130,2	61,7	27,7	8,4
	Comprimé	120,6	63,1	26,8	8,4
	Compacté	131,8	64,6	24,5	9,1
	Cond.20mm	142,8	65,6	22,3	10,4
	3mm	163,7	65,8	21,3	11,0
FETUQUE ELEVEE	Haché	96,3	61,5	27,9	9,7
	Comprimé	110,8	63,7	23,0	12,2
	Compacté	124,8	59,3	29,0	10,7
	Cond.10mm	132,2	66,3	20,3	12,3
	3mm	142,2	65,2	19,4	13,8
	Limité	137,8	60,4	26,5	12,2

CHAUTARD - CRZV Theix

E - Etat de santé des animaux :

Les principaux accidents notés concernent les animaux recevant une ration de fourrages condensés. En effet, le fourrage broyé n'est pas l'aliment de prédilection du ruminant équipé sur le plan anatomique et physiologique pour la consommation d'herbe. Les principaux inconvénients sanitaires d'une alimentation à base de fourrages condensé ont été récapitulés par LARVOR (1967). Il s'agit :

- des météorisations : l'ingestion de fourrages broyés et agglomérés entraîne une réduction de la motricité du rumen. L'éructation étant sous la dépendance de celle-ci, les gaz non évacués s'accumulent dans la panse et provoquent des météorisations. Elles sont rarement aiguës, mais n'en sont pas moins gênantes car elles provoquent des diminutions souvent importantes de la consommation et de la production.

- des indigestion aiguës se manifestent par un arrêt de la motricité du rumen, par de la diarrhée et par une modification de la flore du rumen. Ces indigestions seraient dûes à un passage rapide d'un régime classique à une ration granulée. Du syndrome engendré résulte la production d'acide lactique dans le rumen et une acidose qui peut parfois entraîner la mort.

- des lésions du rumen ou ruminites : d'après MINSON (1963), cette affection, plus connue sous le nom de parakératose, consiste en un grossissement et un regroupement de papilles du rumen en masses compactes. LE BARS (1968) distingue 3 catégories de lésions :

- les ruminites aiguës : elles se traduisent par l'apparitio de zones congestionnées. Les villosités s'enflamment et, à la limite, on peut assister à la formation d'ulcères ;

- les ruminites chroniques : elles consistent en une disparition des villosités et en l'apparition de cicatrices et de modules proéminents ;

- agglomération de villosités : ces villosités se rassemblen en paquets et ne peuvent être séparées que par un lavage énergique.

Ce sont les débris alimentaires et les poils qui se trouvent entre les villosités et qui ne sont plus chassés par les grosses particules de fourrage long, qui provoquent l'agglomération des particules. LARVOR ajoute un autre type d'affection : la pigmentation anormale du rumen. Il s'agit d'une pigmentation foncée qui serait dûe à un phénomène de surface associé à des facteurs chimiques intervenant dans le liquide du rumen. Les principaux facteurs influant sur la fréquence d'apparition et la gravité de ces lésions sont :

- la quantité de concentré incorporée au fourrage condensé,
- la nature du concentré : le maïs est favorable,
- la finesse de broyage.

- des abcès hépatiques : ils apparaissent consécutivement aux ruminites. D'après LARVOR, certains microorganismes du rumen traversent la paroi de celui-ci au niveau des lésions, passent dans le sang et parviennent au foie où ils déterminent l'apparition d'abcès.

Ces principaux accidents, s'ils ne présentent qu'un inconvénient minime chez les animaux à l'engrais destinés à être abattus rapidement, ont une plus grande importance chez les vaches laitières pour lesquelles ils importent de connaître les réactions à long terme à l'alimentation à base de condensés.

Pour limiter les effets néfastes de cette technique, les fourrages conditionnés pourront n'entrer que partiellement dans la ration de base où ils remplaceront une partie des fourrages grossiers ou se substituer totalement ou en partie aux aliments concentrés.

CONCLUSION

L'étude bibliographique que nous venons d'effectuer permet de conclure que le conditionnement des fourrages déshydratés modifie peu leur valeur alimentaire et permet aussi d'envisager la déshydratation comme technique de conservation des fourrages.

En effet, la diminution de la digestibilité et du temps de rumination provoquée par le conditionnement est compensée, surtout pour les fourrages compactés et condensés, par une augmentation du niveau d'ingestion. Cependant, une ration uniquement à base de fourrages conditionnés risque d'entraîner des accidents digestifs. Il était donc nécessaire d'envisager des modes de conditionnement respectant mieux la structure des fourrages pour ne pas troubler la digestion chez le ruminant. Mais il est incontestable que les fourrages conditionnés entraînent une modification du faciès fermentaire du rumen ; c'est pourquoi, nous avons essayé de préciser, au cours de notre étude expérimentale, l'influence du conditionnement des fourrages déshydratés sur les fermentations dans le rumen en s'intéressant plus particulièrement aux produits terminaux de la digestion des glucides membranaires qui sont les acides gras volatils.

D E U X I E M E

P A R T I E :

C O N D U I T E D E S E S S A I S

E T

T E C H N I Q U E S E X P E R I M E N T A L E S

INTRODUCTION

Afin de préciser l'influence des nouvelles formes de présentation des fourrages déshydratés, fourrages comprimés et fourrages compactés, sur l'intensité et l'orientation des fermentations dans le rumen, une étude est entreprise depuis 1969 au Laboratoire de Recherches de la Chaire de Zootechnie de l'E.N.S.S.A.A.

Elle s'est effectuée sur des graminées et des légumineuses dans le but de comparer ces deux espèces.

En 1971, cette étude a été complétée par des expériences d'une part sur la granulométrie de ces fourrages et le comportement alimentaire de moutons nourris avec ces fourrages, d'autre part sur l'évolution au cours de la journée du pH et de la concentration en A.G.V. du jus de rumen.

CHAPITRE I - CHOIX du MATERIEL

A/ Les animaux :

Nous utilisons des moutons castrés de race Mérinos pour les premières expériences et Ile de France pour les dernières. Ces moutons, âgés de 2 à 3 ans, sont munis de fistule permanente du rumen.

Neuf moutons participent aux expériences, ce qui nous permet de constituer trois lots de trois moutons homogènes au point de vue race, poids et niveau de consommation.

B/ Les aliments :

Les expériences se réalisent sur deux familles de fourrages : les graminées et les légumineuses. Parmi celles-ci, nous avons utilisé :

- trois espèces de graminées : Ray-grass d'Italie variété Tétrone
  Dactyle variété Daprime
  Fétuque variété Manade

- deux espèces de légumineuses : Trèfle violet variété Kühn
  Luzerne variété Europe

Ces différents fourrages sont conditionnés au domaine de la Minière (INRA), c'est-à-dire soit hachés, soit agglomérés dans une presse à piston ou à filières, soit broyés et agglomérés dans une presse à filières.

.../...

CHAPITRE II - SCHEMA EXPERIMENTAL

Nous avons choisi un schéma expérimental très simple. Au cours d'un essai, chaque lot de 3 moutons est affecté successivement à chaque mode de présentation du fourrage (haché, comprimé, compacté).

Chaque période expérimentale dure de 5 à 6 semaines et comporte :

- une période d'accoutumance à chaque régime de 4 semaines indispensable pour obtenir un jus de rumen représentatif du régime étudié ;
- une période expérimentale proprement dite de deux semaines.

La séquence des mesures effectuées au cours de l'essai est la suivante :

- comportement alimentaire les 3ème et 4ème semaines,
- prélèvements de jus de rumen : l'un au début de la 5ème semaine, l'autre au début de la 6ème semaine d'expérience pour des mesures in vitro,
- cinétiques des produits terminaux de la digestion, au milieu de la 5ème et de la 6ème semaines.

CHAPITRE III - TECHNIQUES EXPERIMENTALES

A/ Fistulation des animaux :

Cette technique chirurgicale, relativement simple, nécessite, cependant, une anesthésie générale. Nous avons utilisé comme anesthésique le penthiobarbital sodique (Nesdonal).

Il est injecté en solution à 2 % dans la veine jugulaire par l'intermédiaire d'un fin cathéter. Ce système permet de faire des réinjections de quelques millilitres dès que l'animal se manifeste au cours de l'opération.

Fistule dans le flanc gauche du rumen d'un mouton

Les fistules ou canules utilisées sont fabriquées au laboratoire à partir de tuyaux d'arrosage en chlorure de polyvinyle. Au moment de la mise en place, le pavillon de la canule est ramolli par immersion dans l'eau bouillante. Ainsi, on peut replier une partie du pavillon pour l'introduire en force dans le rumen.

A la fin de l'intervention, la fixation de la canule est assurée par une plaque plus ou moins rigide, maintenue par vissage sur le corps même de la canule.

L'animal est mis à la diète 24 heures avant l'opération. Le flanc gauche de l'animal est soigneusement lavé à l'eau et au savon, la surface à inciser est rasée, nettoyée puis badigeonnée d'une solution d'alcool iodée.

L'incision de 2 à 4 cm de diamètre est pratiquée 8 à 10 cm en arrière de la dernière côte et à 10 cm en dessous de la voûte lombaire. Après écartement des différents plans musculaires, le péritoine est ouvert, découvrant le sac dorsal du rumen. Le rumen est alors saisi et sorti de 2 cm par une pince "Clampe". La peau, le péritoine et le rumen sont suturés ensemble. Le rumen est alors incisé et la canule introduite en force à l'intérieur de l'organe. La cicatrisation est complète en 8-10 jours permettant d'enlever les fils de nylon. Un antibiotique est indispensable en fin d'opération et les jours suivants.

B/ Comportement alimentaire :

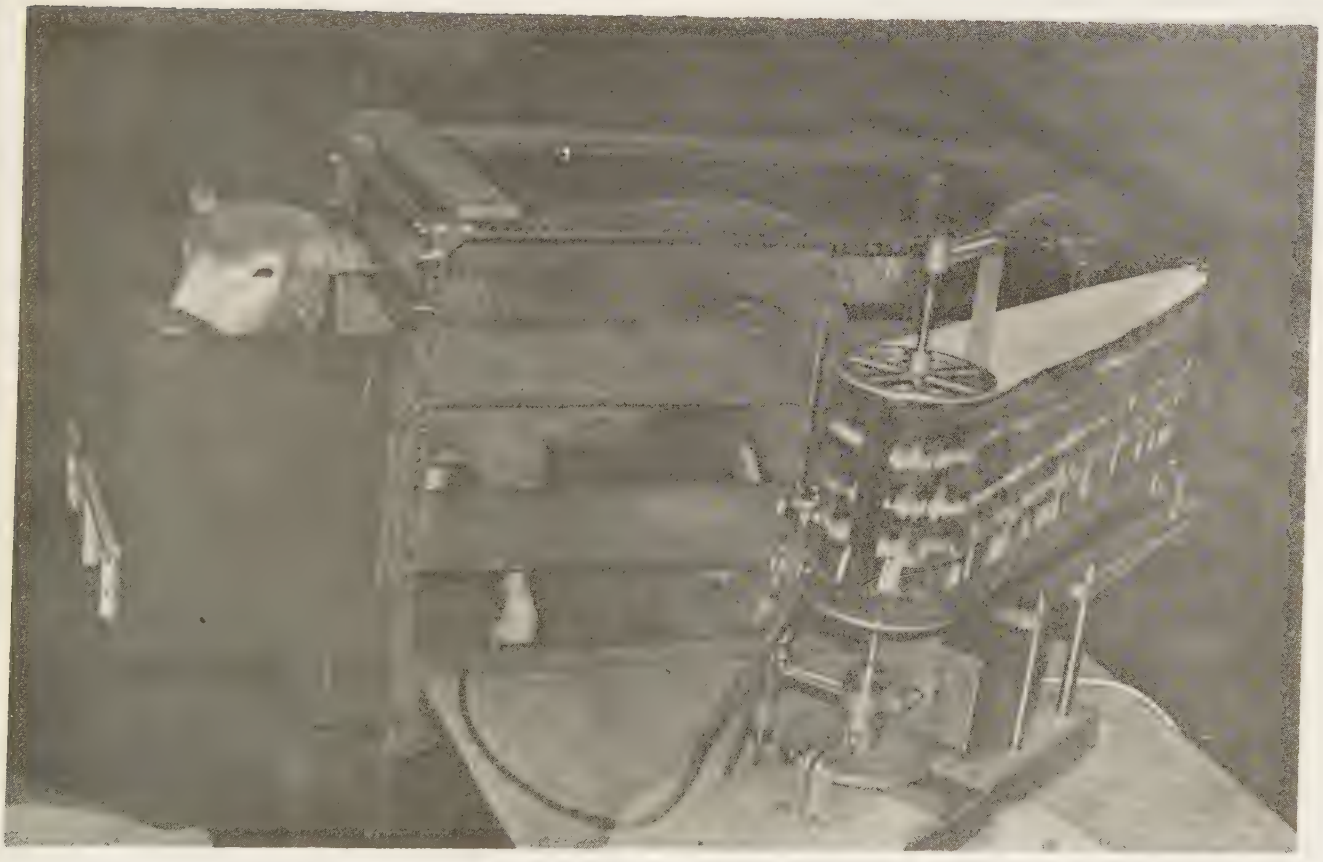
1°) Mesure des quantités ingérées ;

Une quantité d'aliment connue est distribuée à chaque mouton en deux repas : à 8 h. et 16 h. (une moitié le matin, l'autre le soir).

L'aliment est distribué à volonté, mais pour éviter une trop grande perte, on ajuste les rations en fonction de la consommation des jours précédents, de telle sorte que les refus se situent entre 10 et 20 % de la quantité distribuée. Les refus sont pesés chaque jour et enlevés à heure fixe, le matin avant le repas.

La matière sèche du fourrage variant peu, elle est effectuée sur un échantillon moyen pour les 15 jours de mesure dans une étuve à 60°C pendant 24 heures.

Enregistrement du comportement alimentaire



2°) Enregistrement du comportement alimentaire :

Le comportement alimentaire est enregistré par la méthode de RUCKEBUSCH pendant cinq jours consécutifs. Cet enregistrement des mouvements de la mâchoire inférieure de l'animal permet d'étudier la répartition, le nombre et la durée des périodes pendant lesquelles il ingère des aliments, rumine ou ne fait rien.

Un ballonnet rempli de mousse de polyuréthane est fixé à l'aide de sangles sous la mâchoire inférieure de l'animal. Les mouvements de la mâchoire déterminent au niveau du ballonnet des variations de pression qui sont transmises à une capsule de Marey munie d'un stylet inscripteur, lequel stylet les inscrit sur une bande de papier enduite de noir de fumée qui se déroule à une vitesse constante de 1,4 mm par minute.

On peut reconnaître facilement les périodes de consommation, de rumination et de repos d'après la forme des tracés obtenus. Les tracés correspondants à la rumination sont très réguliers puisque chaque période de rumination est constituée de cycles successifs comportant chacun un temps d'arrêt facilement perceptible. Les tracés correspondants à la prise de nourriture sont moins réguliers et plus amples.

A partir de cet enregistrement des mouvements de la mâchoire, nous reconstituons un véritable emploi du temps de l'animal qui indique le temps relatif passé à ingérer, à ruminer et à ne rien faire, avec chacun des fourrages.

Nous déterminons, par ailleurs : le nombre, la durée et la répartition au cours du jour et de la nuit des périodes de consommation, de rumination et de repos, le nombre et la durée moyenne des cycles de rumination.

C/ Digestion dans le rumen :

1°) Prélèvement du contenu du rumen :

Tous les auteurs sont unanimes à reconnaître que le contenu du rumen est un milieu très hétérogène à l'intérieur duquel s'établit une stratification conduisant à des différences notables de composition entre les différents niveaux.

Technique de prélèvement de jus de rumen

Dispositif d'incubation in vitro : "Rumen artificiel"

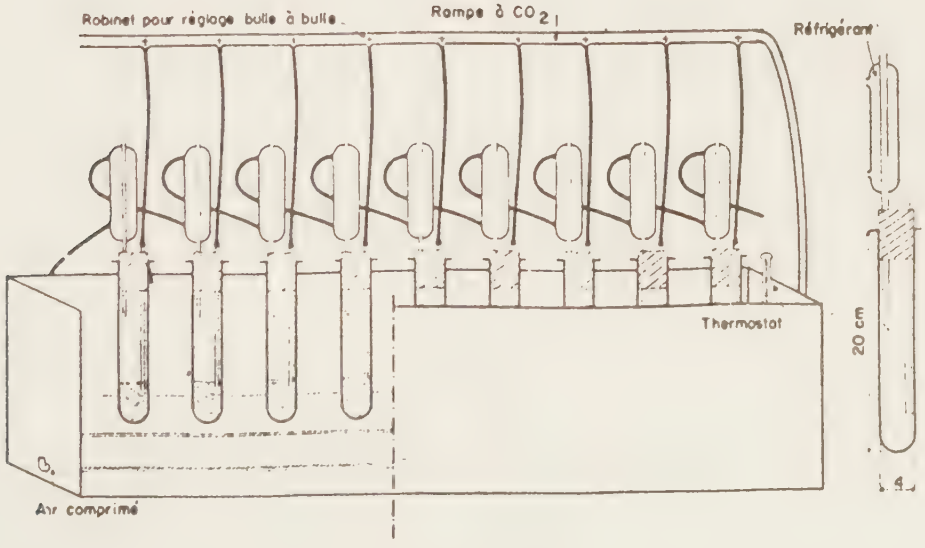


Schéma du rumen artificiel

Obtenir un échantillon représentatif est donc difficile. Ainsi, dans le souci d'avoir un échantillon moyen, les prélèvements sont faits à l'aide d'un tuyau en matière plastique relié à une pompe. Au cours du prélèvement, nous passons manuellement le tuyau dans tous les compartiments du rumen par un mouvement de va et vient.

2°) Mesures in vitro : Technique du "rumen artificiel" :

Pour les études de digestion in vitro, les prélèvements de jus de rumen sont faits à 8 jours d'intervalle, 2 heures après le repas du matin alors que les fermentations sont maxima.

Le jus de rumen de chaque mouton est filtré sur six couches de gaz puis mis en incubation avec le fourrage expérimental dans le "rumen artificiel". L'incubation dure 24 heures pour les légumineuses et 48 heures pour les graminées et permet d'apprécier l'activité fermentaire du jus de rumen en mesurant l'activité cellulolytique et en dosant les acides gras volatils.

La technique de "rumen artificiel", utilisée, est celle mise au point par TISSERAND et ZELTER (1965). Le dispositif adopté consiste en un tube à essai (37 mm de diamètre x 200 mm de hauteur), d'une capacité de 150 ml, immergé dans un bain-marie thermostatique à une température de 39°c $\pm$ 0,5 ; le tube à essai est obturé par un bouchon étanche porteur de deux tubulures permettant le passage, bulle à bulle, d'un courant de gaz carbonique qui assure le brassage du milieu ; un micro-réfrigérant à reflux, monté sur la tubulure de sortie de gaz, supprime les pertes de substances volatiles. Le substrat expérimenté (1 g) est introduit dans le tube à essai avec 20 ml de salive artificielle (formule de Mac DOUGALL (1)), enrichie en oligo-éléments et 20 ml d'inoculum (jus de rumen filtré).

---

(1) Formule de la salive artificielle en mg/l :

CO_3HNa_9240 - PO_4HNa_2, 12 H_2O_7125 - NaCl 470 - KCl 450
$MgCl_2$ anhydre 47 - $CaCl_2$anhydre 55 - SO_4Fe $7H_2O$ 75 -
SO_4Mn, H_2O_4 - SO_4Cu, $5H_2O$ 2 - $CoCl_2$ 2 - So_4Zn, 7 H_2O 6,1 -

Le pH de cette solution est environ 8.

3°) Mesures in vivo : Evolution de l'activité fermentaire du jus de rumen au cours de la journée :

Les critères retenus sont le pH, la concentration et la composition en acides gras volatils.

Le fourrage et l'eau sont retirés aux animaux après le repas du soir précédant le jour de la mesure.

Ainsi le lendemain, des prélèvements de jus de rumen sont effectués à partir du temps 0, c'est-à-dire avant le repas du matin puis 1 h., 2 h., 3 h., 5 h., 7 h. après le repas qui dure 1 h.. Les quantités ingérées sont mesurées avec exactitude.

A chaque prélèvement, le jus de rumen est filtré sur six couches de gaze.

Le pH est mesuré immédiatement et le dosage des acides gras volatils est effectué dans la journée sinon le jus de rumen est conservé au congélateur.

.../...

CHAPITRE IV - METHODES d'ANALYSE BIOPHYSIQUE et BIOCHIMIQUE

A/ La granulométrie :

Cette mesure permet de préciser les dimensions des particules constituant le fourrage conditionné. Les mesures sont faites sur trois échantillons de 50 g. de fourrage. Les agglomérés sont désagrégés à la main après humectation à l'aide d'une pissette. Après un sèchage naturel à l'air, le fourrage est tamisé pendant 5 mn. puis 10 mn. sur un appareil vibreur Tamisor.

Cet appareil comporte 8 tamis dont la dimension des mailles varie de 0,1 à 4 mm et un plateau basal permettant de recueillir les particules de taille inférieure à 0,1 mm. Par pesée, on détermine le pourcentage de particules récupérées sur les 8 tamis et sur le plateau

La taille moyenne des particules se calcule par l'addition cumulée des pourcentages de particules recueillies sur le plateau et sur les tamis situés en dessous d'un tamis d'un calibre donné. Cela permet de tracer une courbe donnant le pourcentage des particules capables de traverser chaque tamis. A l'aide de cette courbe, on détermin les ouvertures de mailles laissant passer 5 %, 10 % ... 95 % des particules. On fait ensuite la somme de ces ouvertures et la division par 19 donne la taille moyenne des particules en mm.

B/ Analyses chimiques :

1°) Teneur en matière sèche :

Elle est déterminée par dessiccation dans une étuve à 60°c pendant 24 h. ;

2°) Teneur en matières minérales :

C'est le résidu de la substance à analyser après incinération dans un four électrique à 550°c.

3°) Teneur en matières azotées totales .

Elles sont dosées par la méthode de Kjeldhal.

4°) Teneur en matières cellulosiques :

Nous avons utilisé plusieurs méthodes :

- Détermination par la méthode de Weende :

Les matières cellulosiques constituent le résidu organique obtenu après deux hydrolyses successives, l'une en milieu acide, l'autre en milieu basique. La cellulose brute ainsi obtenue contient la plupart de la cellulose vraie, un résidu d'hémicellulose et une fraction de lignine.

- Détermination par la méthode de Van Soest :

Cette méthode, plus rapide, permet d'obtenir un résidu organique après une hydrolyse d'une heure. Elle comprend deux techniques :

. L.S. (Lauryl Sulfate) : l'hydrolyse se fait avec un détergent neutre, le lauryl sulfate. Le résidu obtenu contient la totalité des glucides membranaires (cellulose, hémicellulose, lignine).

. C.T.A.B. : l'hydrolyse se fait en milieu acide en présence de CTAB (céthyltriméthyl ammonium bromide). Le résidu organique obtenu ne contient plus que la cellulose et la lignine.

5°) Dosage des acides gras volatils (AGV) :

Notre étude portant pour une part importante sur les variations des produits terminaux de la digestion, elle ne pouvait être réalisée sans une méthode précise de dosage des acides gras volatils dans le jus de rumen.

La 1ère année, nous avons utilisé la chromatographie de partage gaz-liquide, méthode JAMES et MARTIN, modifiée par ZELTER et LEROY. Ce dosage comprenait deux phases :

une extraction des AGV par distillation,
une séparation de ces AGV sur colonne,
et un dosage par titrimétrie.

Ensuite, nous avons dosé les A.G.V. directement dans le jus de rumen par chromatographie en phase gazeuse.

- Appareillage :

Le chromatographe est un Becker 409 à double colonne, muni de deux détecteurs à ionisation de flamme. Les enregistreurs "Sefram" sont reliés à des intégrateurs automatiques à imprimante "LTT". Les colonnes de 2 m de long et $\frac{1}{4}$ de pouce de diamètre sont en verre.

Le support du chromosorb W 80-100 mesh est imprégné de 25 % de NPGA (N Pentyl glycol adipate) et 2 % d'acide phosphorique. Cette phase nous a donné une meilleure séparation de l'isobutyrique que le Carbowax 20M. La température du four des colonnes est de 130°c, celle du détecteur de 250°c, et les débits des gaz sont de 30 ml/mn pour l'azote, 20 ml/mn pour l'hydrogène et 350 ml/mn pour l'air.

- Mode opératoire :

A 10 ml de jus de rumen obtenu après filtration et centrifugation, on ajoute 1 ml d'acide formique à 10 % pour acidifier le milieu et éviter des phénomènes d'adsorption.

On injecte 4 μl du mélange dans l'appareil. Tous les acides jusqu'à l'acide valérianique sont élués au bout de 20 mn.

Une solution étalon nous permet de connaître les coefficients de proportionnalité des différents acides et ainsi on peut évaluer non seulement les proportions des différents acides mais aussi leur concentration.

T R O I S I E M E

P A R T I E :

R E S U L T A T S E X P E R I M E N T A U X :

INFLUENCE de NOUVELLES FORMES de PRESENTATION des FOURRAGES DESHYDRATES (FOURRAGE HACHE, COMPRIME et COMPACTE) sur la DIGESTION chez le RUMINANT

CHAPITRE I - COMPOSITION CHIMIQUE des FOURRAGES

La composition chimique des fourrages déshydratés utilisés est rapportée dans les tableaux 1 et 2. Ils permettent d'apprécier d'une part la qualité des fourrages d'après la teneur en matières cellulosiques, et d'autre part l'influence du conditionnement Ainsi, parmi les graminées, le dactyle est de qualité médiocre alors que la fétuque élevée et le ray-grass sont de bonne qualité ; parmi les légumineuses, les trèfles violets et la luzerne (1969) sont de qualité moyenne.

Par ailleurs, le conditionnement des fourrages n'entraîne pas de modifications systématiques de leur composition chimique.

La teneur en matières minérale est pratiquement constante pour les trois formes de présentation, aussi bien pour les graminées que pour les légumineuses.

Nous enregistrons toutefois une baisse sensible de la teneur en cellulose brute entre le fourrage long et le fourrage compacté.

TABLEAU 1 - Composition des fourrages (graminées)

FOURRAGE	Mode de présentation	Matière sèche en %	Matières minérales en % M.S.	Matières azotées totales en % M.S.	Matières cellulosiques en % M.S.
Dactyle (daprime)	Long	89,25	9,8	10,3	33,5
	Comprimé	88,50	9,2	12,1	33,2
	Compacté	87,25	9,3	10,3	31,4
Fétuque (manade)	Long	87,75	9,5	10,6	28,3
	Comprimé	88,75	9,3	12,2	28,0
	Compacté	87,0	8,7	15,1	27,1
Ray-grass (tétrone)	Long	88,35	9,1	10,5	25,9
	Comprimé	87,85	9,7	14,1	23,7
	Compacté	89,15	9,0	10,4	24,9

TABLEAU 2 - Composition des fourrages (légumineuses)

FOURRAGE	Mode de présentation	Matière sèche %	Matières minérales en % M.S.	Matières azotées totales en % M.S.	Matières cellulosiques en % M.S.
Trèfle violet (Kühn) (1er cycle)	Long	87,75	11,07	15,49	25,96
	Comprimé	88,45	11,74	15,82	27,12
	Compacté	89,25	10,83	16,07	24,84
Trèfle violet (Kühn) (2e cycle)	Long	89,15	12,31	18,05	25,62
	Comprimé	88,85	11,97	19,43	25,41
	Compacté	90,15	12,05	19,01	23,98
Luzerne (Europe) 1969	Long	91,15	10,95	19,88	29,52
	Comprimé	87,25	10,66	19,46	29,39
	Compacté	88,75	10,53	19,47	28,36

CHAPITRE II - GRANULOMETRIE

L'analyse granulométrique effectuée par tamisage à sec après humidification, délitement manuel des agglomérés et sèchage à l'étuve, révèle que le conditionnement d'un fourrage se manifeste par un broyage plus ou moins important selon le type de presse (tableau n° 3).

Nous avons pour les trois modes de présentation, haché, comprimé et compacté, des valeurs de la taille moyenne des particules qui varient respectivement de 3,95 à 2,92 mm, de 1,84 à 0,73 mm et de 0,72 à 0,45 mm.

L'importance de cette réduction en particules plus ou moins fines dépend du type de presse utilisé ; la presse à filières entraîne un broyage plus important que la presse à piston ; ainsi la taille moyenne des particules est la plus petite pour la forme compactée et elle est en relation avec le pourcentage (en poids) de grosses particules ($>$1,25 mm) qui varie de 4 à 17 % pour le compacté et de 30 à 60 % pour le comprimé.

De plus, à l'intérieur d'un même type de conditionnement, l'importance du broyage est variable comme le montrent les valeurs des tailles moyennes des particules (tableau n° 3). Pour un même type de conditionnement, le broyage dépend :

- de l'espèce végétale : en effet, il apparaît que les graminées sont moins sensibles à l'effet du malaxage de la presse que les légumineuses. Cette différence peut être dûe à une différence de composition morphologique.

- du stade végétatif : le trèfle violet 2ème cycle semble plus sensible au broyage occasionné par le conditionnement que le trèfle violet 1er cycle. Cela peut être attribué à une évolution de la composition morphologique du fourrage et, en particulier, à une augmentation du pourcentage de feuilles (table de DEMARQUILLY).

Enfin, il faut également souligner que l'échantillonnage est difficile, la tenue des agglomérés varie dans le temps ; ainsi certains sont plus friables et se réduisent en poussières lors du délitage ou du brassage sur le tamis.

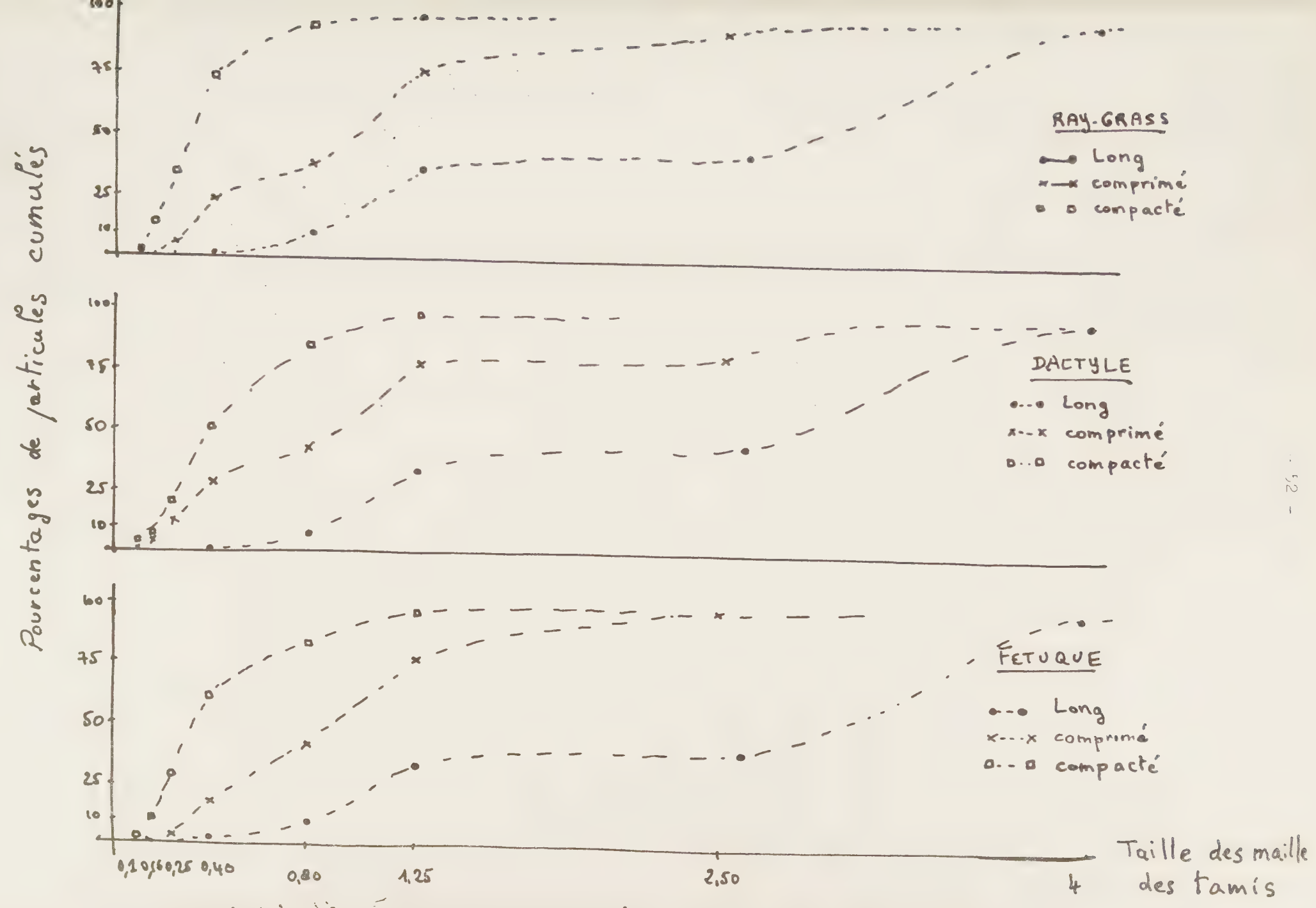
TABLEAU 3 - Granulométrie des fourrages

MODE de CONDITIONNEMENT / FOURRAGE	HACHE			COMPRIME			COMPACTE			CONDENSE		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
RAY-GRASS (Tétrone)	3,92	89,6	97,3	1,13	59,2	74,1	0,71	5,2	25,5			
DACTYLE (Daprime)	4,05	91,3	98,5	1,84	57,3	70,7	0,72	14,9	47,9			
FETUQUE (Manade)	3,78	89,2	96,9	1,57	59,0	80,9	0,70	17,8	49,4			
TREFLE VIOLET 1er cycle (Kühn)	3,72	88,9	95,0	1,18	37,7	54,0	0,57	6,1	29,0			
TREFLE VIOLET 2ème cycle (Kühn)	3,95	87,6	95,0	1,02	29,7	41,8	0,45	3,9	13,0			
LUZERNE 1969 (Europe)	2,92	85,0	91,8	0,73	49,3	65,8	0,65	7,5	30,2			
LUZERNE 1972 (Europe)	3,25	86,9	92,3	1,07	46,1	67,3				0,43	3,62	11,5

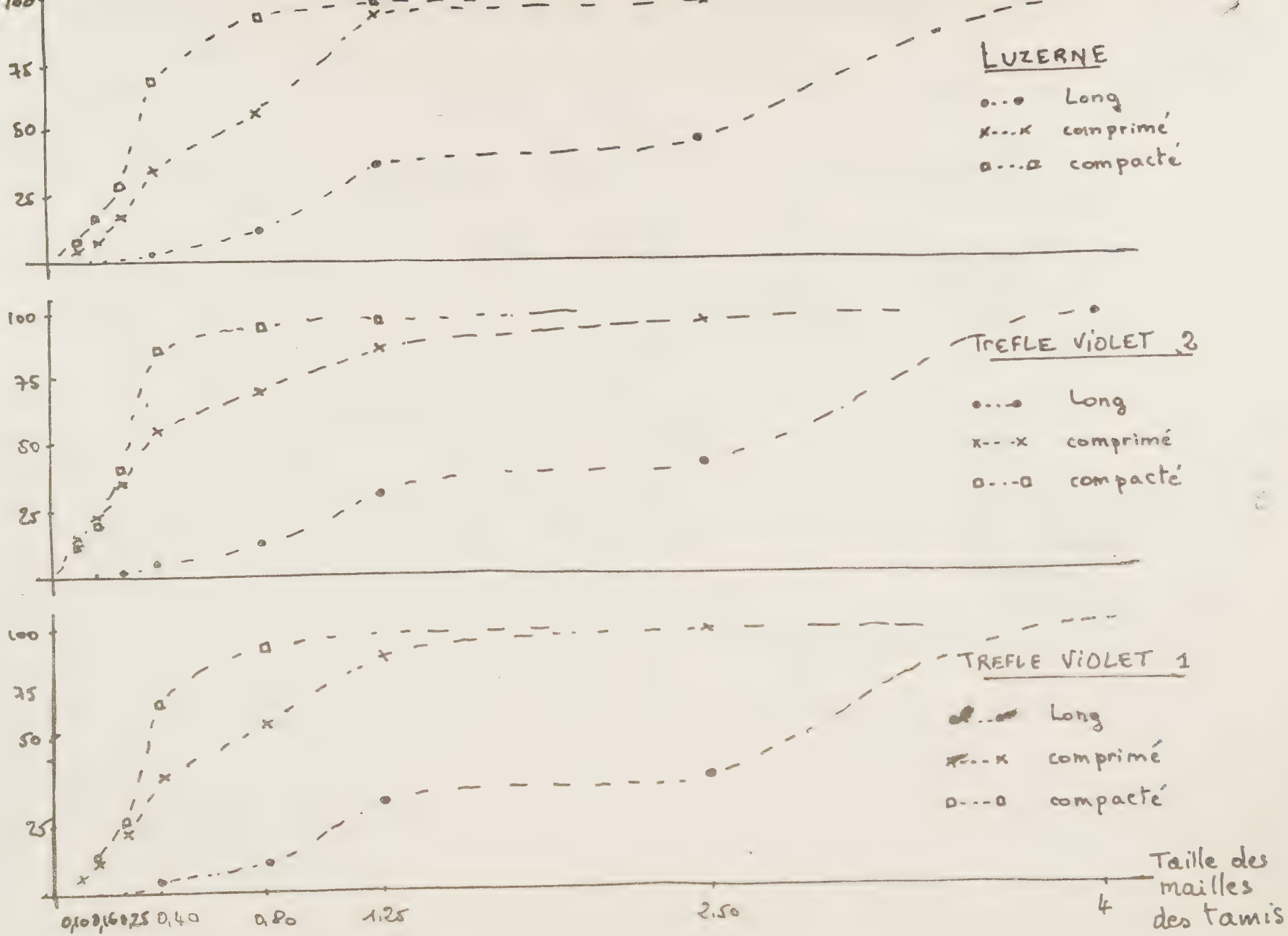
X = Taille moyenne des particules

Y = p.100 de particules $>$ 1,25 mm

Z = p.100 de particules $>$ 0,80 mm



GRAHIQUE n° 1 GRANULOMETRIE DES FOURRAGES



GRAPHIQUE N° 2 GRANULOMETRIE DES FOURRAGES

CHAPITRE III - QUANTITE de MATIERE SECHE INGEREE

Le conditionnement des fourrages déshydratés provoque une augmentation de la quantité ingérée de matière sèche qui s'élève jusqu'à 54 % pour certains fourrages (tableau n° 4).

TABLEAU 4 - Quantités de matière sèche ingérées, exprimée en g/kg $P^{0,75}$

FOURRAGES DESHYDRATES	Quantité de matière sèche ingérée en g/kg $P^{0,75}$					
	LONG		COMPRIME		COMPACTE	
	M.S.	indice	M.S.	indice	M.S.	indice
GRAMINEES						
Ray-Grass (tétrone)	56 A	100	57	102	70 A	125
Dactyle (daprime)	56 A	100	58	103	78 A	139
Fétuque (manade)	67 Aa	100	60 aB	89	91 AB	136
LEGUMINEUSES						
Luzerne (europe)	85 A	100	86	101	98 A	115
Trèfle violet 1er cycle (kühn)	41 A	100	63 Ab	154	55 b	135
Trèfle violet 2e cycle (kühn)	50 a	100	57 a	115	50	100

(Les valeurs qui portent la même lettre sont significativement différentes

lettre minuscule $P < 0,05$

lettre majuscule $P < 0,01$)

... ...

Cette augmentation de la quantité ingérée dépend :

a) De la finesse de broyage ; le fourrage est en effet d'autant plus consommé qu'il est plus finement broyé (graphique n° 1). Ainsi, à l'exception du trèfle violet, c'est avec la forme compactée que le niveau d'ingestion est le plus élevé.

Pour les fourrages comprimés, le niveau de consommation n'augmente presque pas sauf pour les trèfles violets. Cette variation très faible observée, en général, peut s'expliquer en partie par le fait que les comprimés de graminées surtout sont assez proches du point de vue structure physique des fourrages déshydratés longs. En effet, les graminées comprimées renferment encore 59 % en moyenne de particules grossières (> 1,25 mm).

Par contre, le pourcentage relativement faible, 30 % de particules grossières (>1,25 mm), des trèfles violets comprimés est une des causes de l'augmentation brutale du niveau d'ingestion. Il faut également souligner qu'en général les fourrages comprimés se délitent facilement et se transforment en poussières entraînant d'importants refus, phénomène non observé avec les trèfles violets comprimés utilisés.

b) De la nature du fourrage : la luzerne est consommée en plus grande quantité que les trèfles violets et les graminées et, parmi ces derniers, la fétuque est mieux consommée que le dactyle et le ray-grass.

Par contre, l'augmentation du niveau de consommation provoquée par le conditionnement est plus importante chez les graminées que chez les légumineuses et plus particulièrement pour la luzerne.

Pour le trèfle violet, on retrouve un phénomène signalé par de nombreux auteurs (MINSON, 1963, DEMARQUILLY, 1967), à savoir que le conditionnement entraîne une augmentation du niveau d'ingestion d'autant plus importante que le fourrage long correspondant est moins bien consommé.

.../...

Discussion - Conclusion

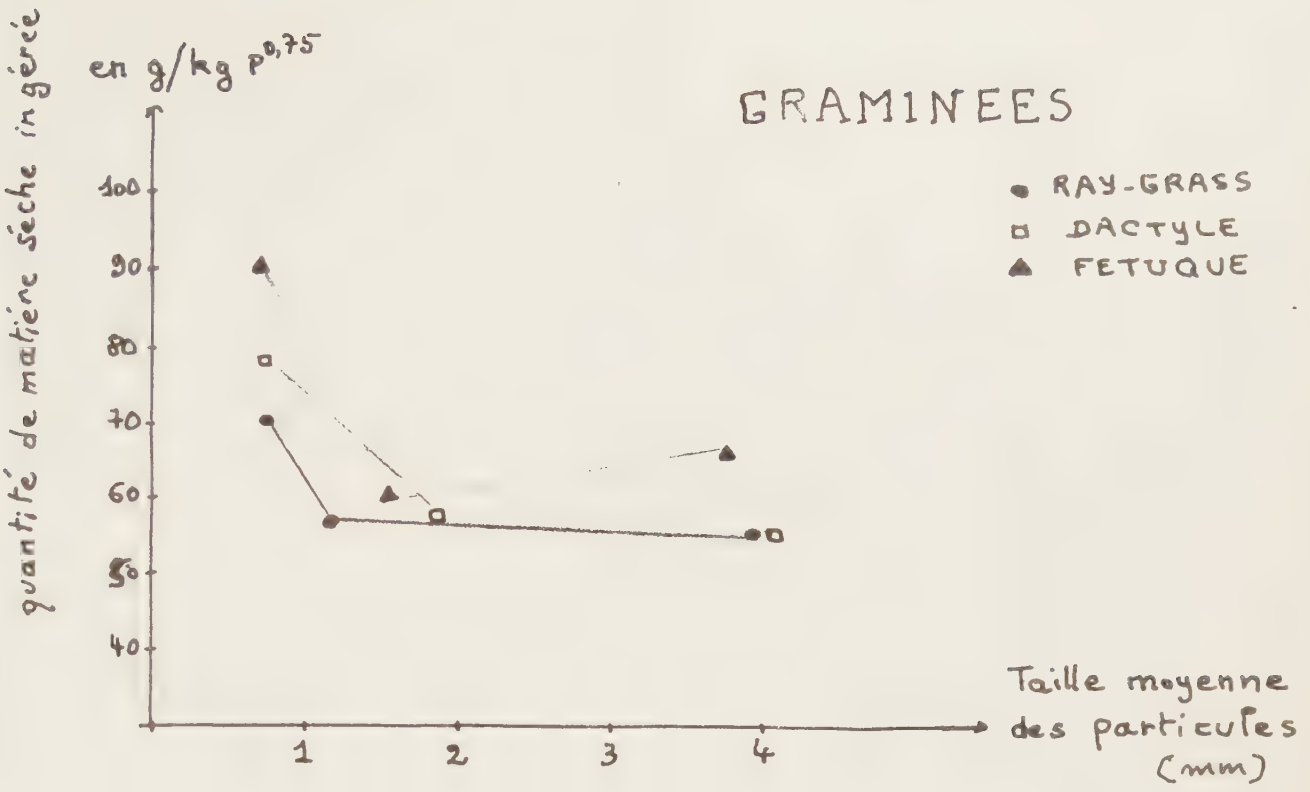
Les fourrages conditionnés ont été ingérés en plus grande quantité que les fourrages hachés correspondants. Les augmentations que nous avons observées (1 à 54 %) sont du même ordre que celles enregistrées par de nombreux auteurs (cf. revue de BEARDSLEY 1964) mais légèrement inférieures à celles observées par DEMARQUILLY et JOURNET (1967)(36 à 96 %).

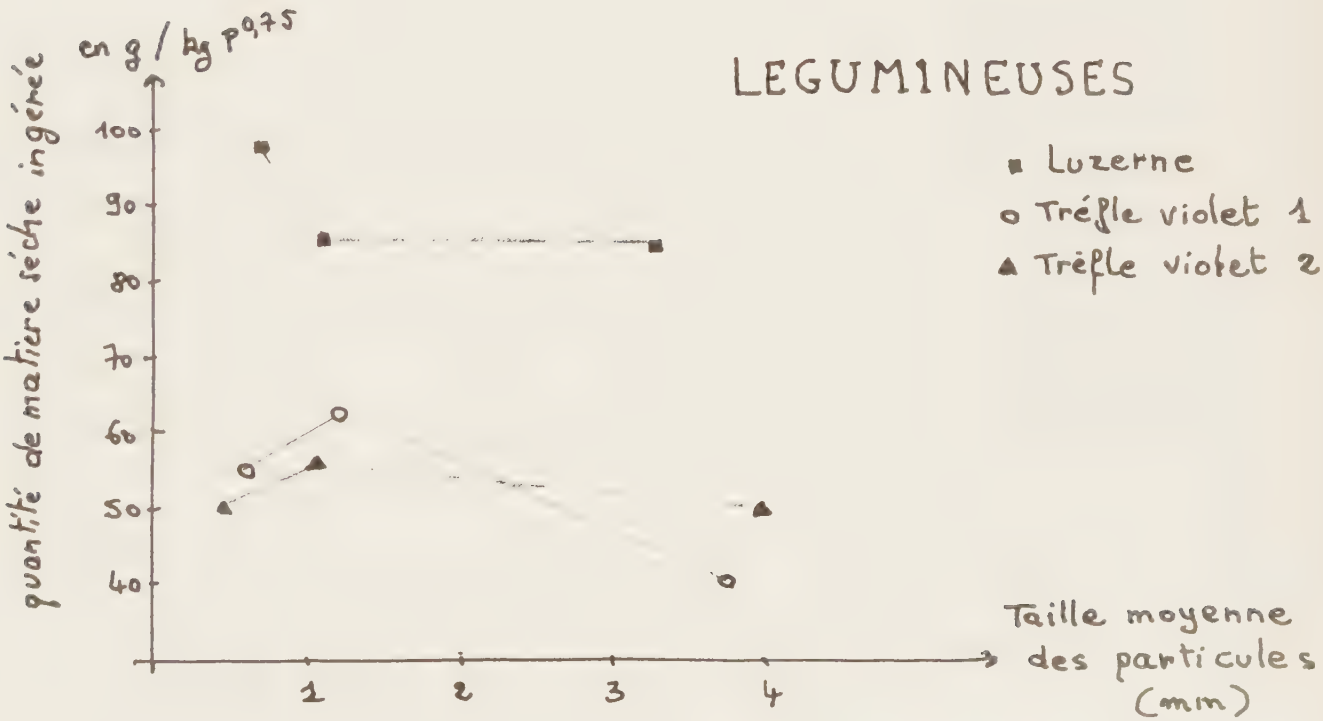
La quantité de fourrages ingérée par le ruminant dépend avant tout de la masse qui encombre son rumen ; plus cette masse disparaît rapidement, plus l'animal ingère de grandes quantités (CAMPLING et BALCH, 1962). Or, nous avons constaté, en accord avec plusieurs auteurs (BLAXTER et al 1956, RODRIGUE et ALLEN 1960), que les fourrages conditionnés distribués à volonté séjournent beaucoup moins longtemps dans le rumen et dans le tube digestif que les fourrages hachés correspondants et, cela, d'autant plus que les fourrages conditionnés renferment un pourcentage plus important de très fines particules. Aussi l'hypothèse généralement admise pour expliquer l'augmentation des quantités ingérées est la suivante : le conditionnement et, plus particulièrement, le broyage pour les fourrages condensés réduit le fourrage en particules assez fines pour qu'elles puissent franchir l'orifice rumen-feuillet et le temps de séjour dans le rumen diminuant, l'animal pourrait consommer davantage.

Il semble cependant qu'il n'en soit pas tout-à-fait ainsi et nos observations faites avec le trèfle violet en particulier nous rapprochent de l'hypothèse de DEMARQUILLY et JOURNET (1967). Pour ces derniers, "l'augmentation de la quantité ingérée serait dûe au fait que les fourrages conditionnés sont plus accessibles et peut-être plus appétibles et qu'ils occupent dans le rumen un volume inférieur à celui occupé par un même poids de fourrage long. Elle serait aussi facilitée par le fait que le fourrage conditionné, surtout le compacté, étant réduit en fines particules, a la possibilité de transiter d'autant plus vite qu'il est ingéré en plus grandes quantités ; possibilité que ne possède pas ou possède très peu le fourrage haché : pour quitter le rumen, il doit être réduit en fines particules sous l'action conjuguée des microorganismes du rumen et de la mastication mérycique".

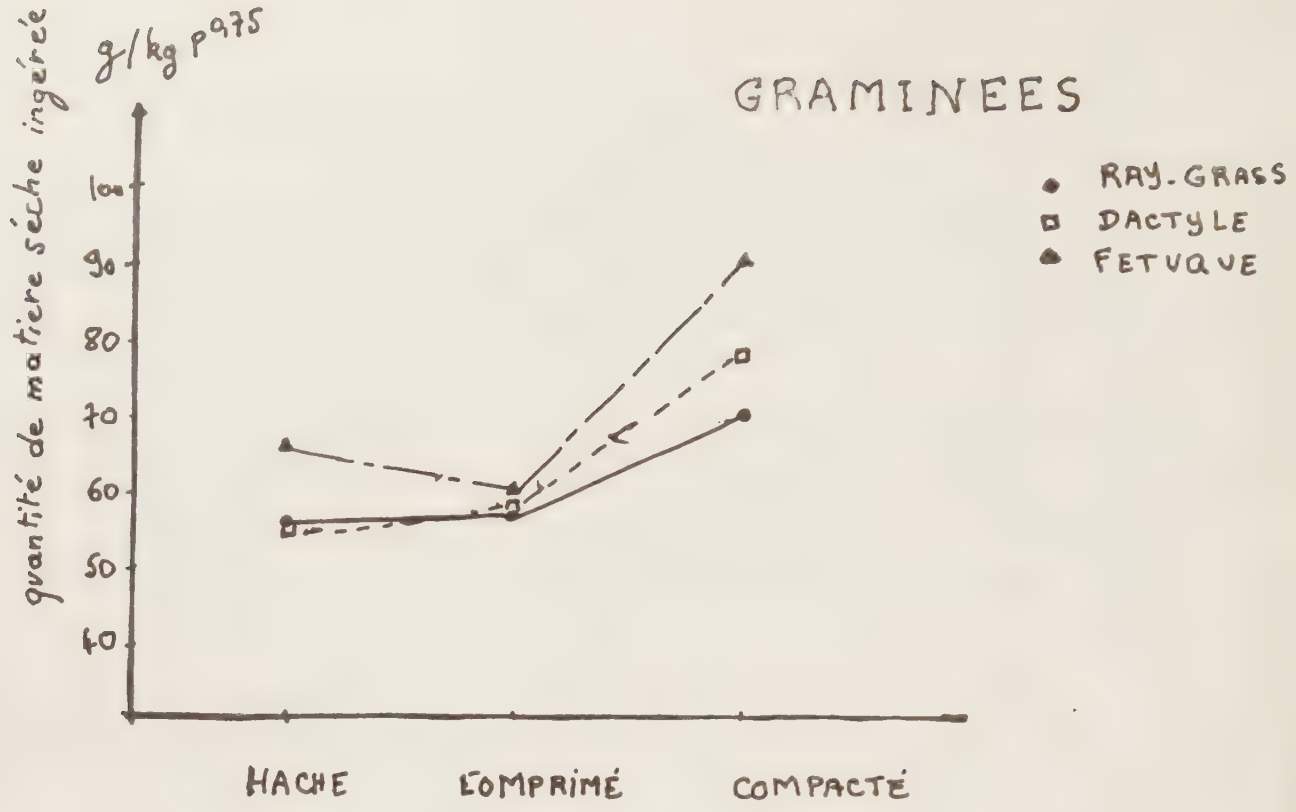
Les fourrages comprimés ne sont guère mieux consommés que les fourrages hachés correspondants. Cela semblerait lié soit à l'existence dans l'agglomeré de particules de grandes dimensions (>2,5 mm) soit à une préhension plus difficile de par sa forme et sa taille, tout du moins pour des moutons.

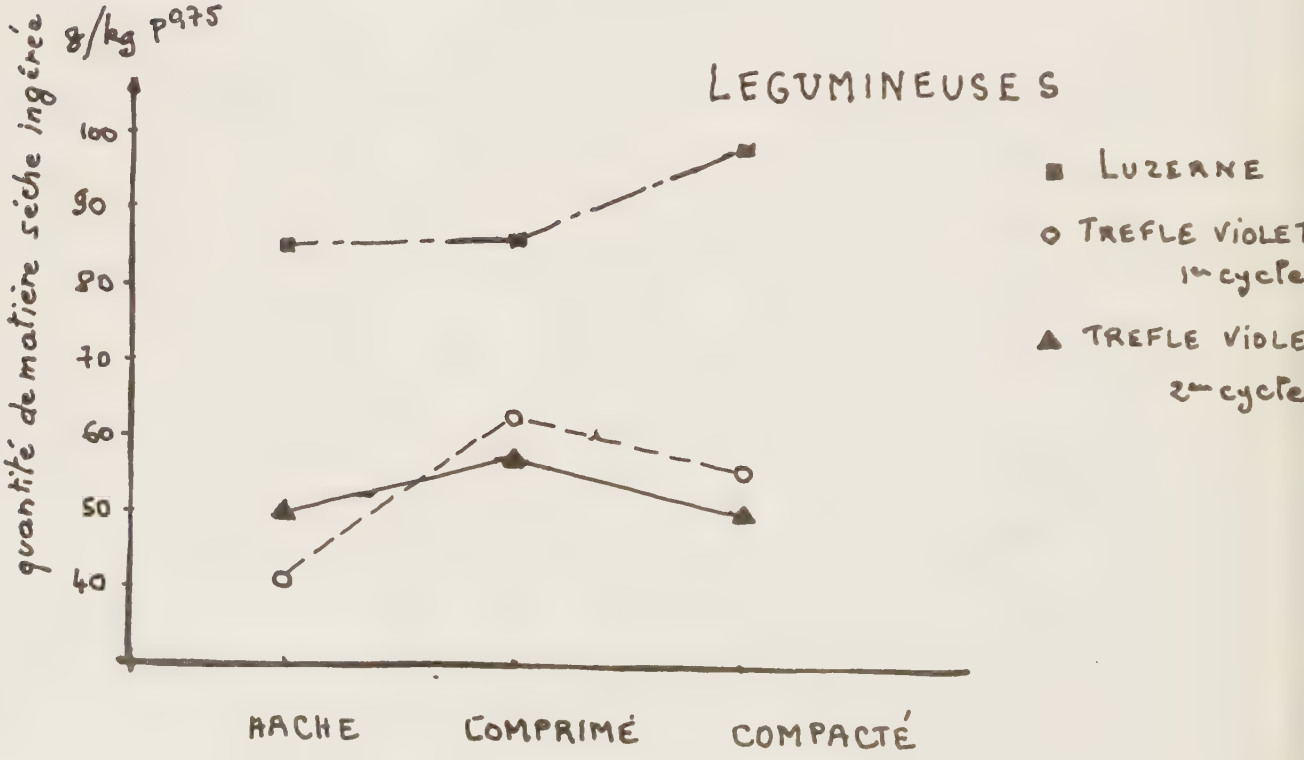
La faible consommation de fourrage compacté de trèfle violet peut être dûe à la dureté des bouchons que nous avons particulièrement notée pour ce lot de fourrage. Il semble que ce facteur peut être limitant et doit être pris en considération.





GRAPHIQUE n°= 3 INFLUENCE DE LA FINESSE DE BROYAGE DES FOURRAGES SUR LA QUANTITÉ INGÉRÉE DE MATIÈRE SECHE





GRAPHIQUE n°4 INFLUENCE DU MODE DE CONDITIONNEMENT DES FOURRAGES SUR LA QUANTITÉ INGERÉE DE MATIÈRE SECHE.

CHAPITRE IV - COMPORTEMENT ALIMENTAIRE

De cette étude, effectuée seulement avec le trèfle violet (les observations faites avec d'autres fourrages ont fait l'objet d'un travail plus approfondi - BANGANA 1973), nous constatons que le conditionnement des fourrages entraîne des modifications du comportement alimentaire des animaux, d'autant plus importantes que le fourrage est réduit en particules de plus en plus fines. En général, les animaux passent moins de temps à consommer et à ruminer, malgré une augmentation des quantités ingérées.

A/ Prise de nourriture :

Exprimée en p.100 du nycthémère, la durée de prise de nourriture est faible dans l'ensemble ; de l'ordre de 10 % alors que certains auteurs (JOURNET, HODEN 1973) rapportent des temps plus élevés, de l'ordre de 20 à 25 %.

TABLEAU 5 - Caractéristiques de la prise de nourriture

FOURRAGE	Mode de conditionnement	Prise de nourriture		
		en p.100 de 24 heures	nombre de repas	en mn pour 100g MSI
Trèfle violet 1er cycle	HACHE	9,6 ± 1,4	7,5 ± 0,9	19mn 53s ± 2mn 30s
	COMPRIME	8,8 ± 0,8	11,3 ± 1,2	10mn 51s ± 1mn 45s
	COMPACTE	6,6 ± 0,6	13,5 ± 1,8	8mn 47s ± 1mn 20s
Trèfle violet 2ème cycle	HACHE	11,2 ± 1,3	8,0 ± 1,5	15mn 06s ± 2mn 15s
	COMPRIME	9,0 ± 0,5	11,0 ± 0,5	10mn 12s ± 1mn 35s
	COMPACTE	6,3 ± 0,5	13,1 ± 1,2	7mn 07s ± 1mn 10s

Le conditionnement entraîne une baisse significative ($P < 0,05$) de la durée totale de prise de nourriture, sauf pour le fourrage comprimé de trèfle violet 1er cycle. C'est lors de distributions de compactés que le temps de consommation est le plus court (6,4 % du nycthémère).

La diminution du temps de consommation entre le comprimé et le long est significative ($P < 0,05$) pour le trèfle violet 2ème cycle, alors qu'elle ne l'est pas pour le trèfle violet 1er cycle. Ceci semble en relation avec la granulométrie, la taille moyenne des particules (1,18 mm) du fourrage comprimé de trèfle violet 1er cycle est plus élevée que celle du fourrage comprimé (1,02 mm) de trèfle violet 2ème cycle. Cette observation peut être à rapprocher de résultats obtenus par JOURNET et HODEN qui de trouvent pas de différence entre fourrage long et comprimé lorsque la taille moyenne du fourrage comprimé est de 1,25 mm.

La répartition nycthémérale est peu modifiée par le mode de conditionnement. L'ingestion présente un cycle journalier lié étroitement à la distribution des repas (graphiques n° 2, 3, 4).

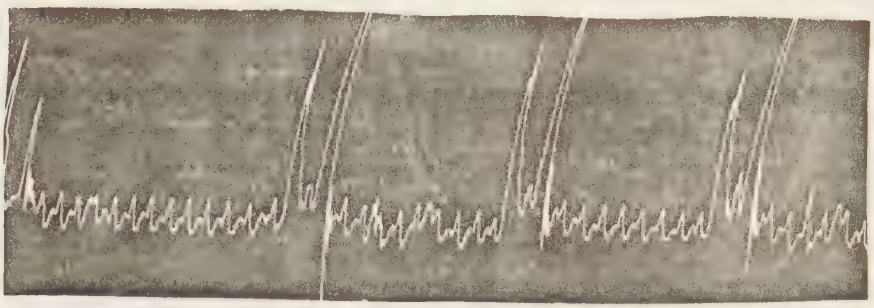
Les animaux ne prennent aucun repas entre 22 heures et 6 heures du matin quel que soit le mode de présentation. Cependant, on peut noter que le mode de présentation des fourrages entraîne une augmentation du nombre de repas. Les animaux consommant les fourrages agglomérés font un plus grand nombre de petits repas au cours de la journée : 7 avec du fourrage haché contre 11 et 13 respectivement pour le fourrage comprimé et le fourrage compacté.

Le rendement d'ingestion, c'est-à-dire le temps de consommation (en mn) de 100 g de matière sèche ingérée permet de mettre en évidence l'influence du conditionnement. Ce rendement, qui varie en sens inverse des quantités ingérées, est significativement plus élevé pour le fourrage haché (19 mn53sec. et 15mn06 sec.) que pour le fourrage comprimé (10mn51sec. et 10mn12sec.) et le fourrage compacté (8mn.47sec. et 7mn.07sec.).

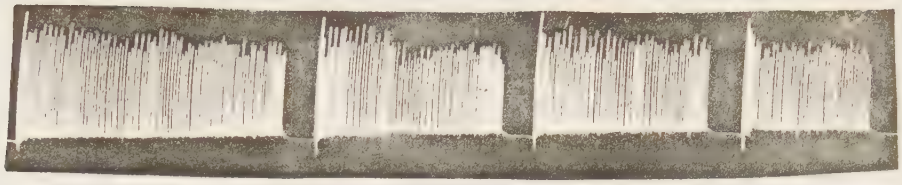
.../...

ENREGISTREMENTS du COMPORTEMENT ALIMENTAIRE (Trèfle violet 2ème cycle long)

Niveau Rumen



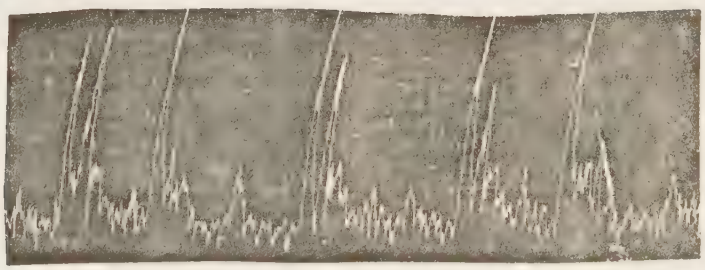
Niveau Mâchoire



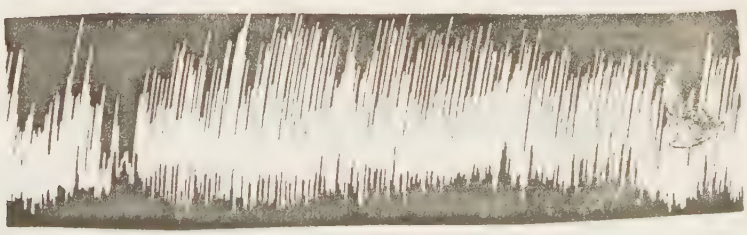
cycle mérycique

RUMINATION

Niveau Rumen
(accélération des
contractions)

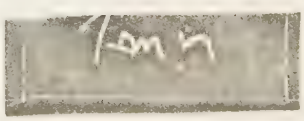


Niveau Mâchoire



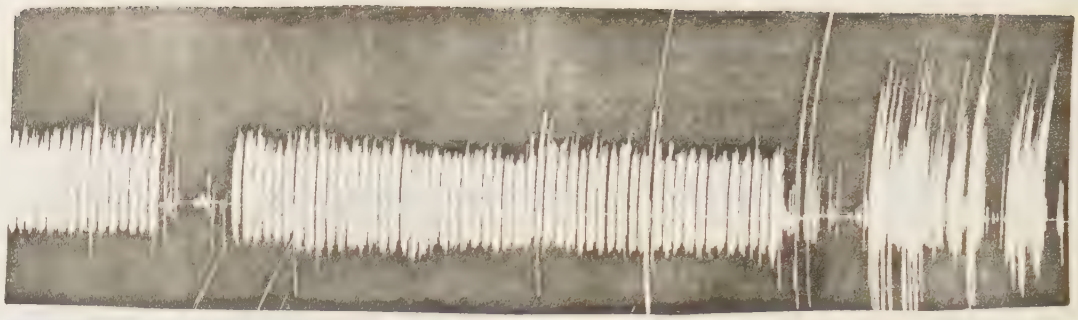
CONSOMMATION

Echelle du
temps

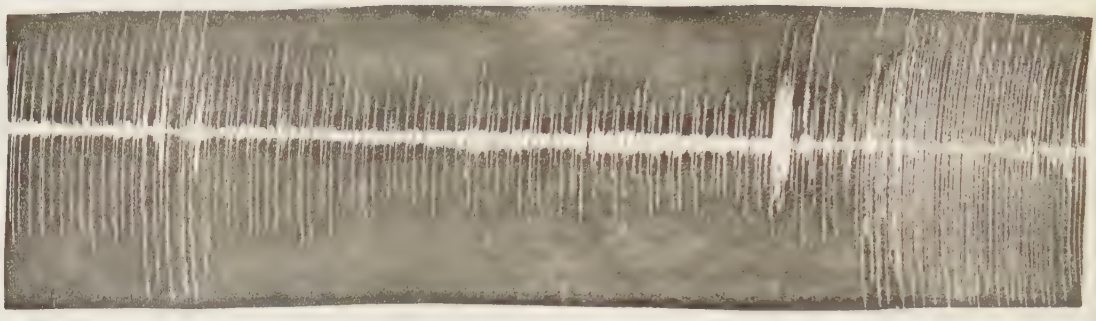


HACHE

Niveau mâchoire

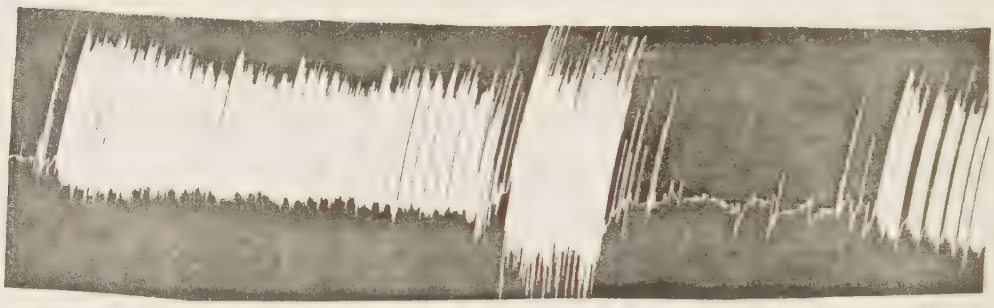


Niveau Rumen

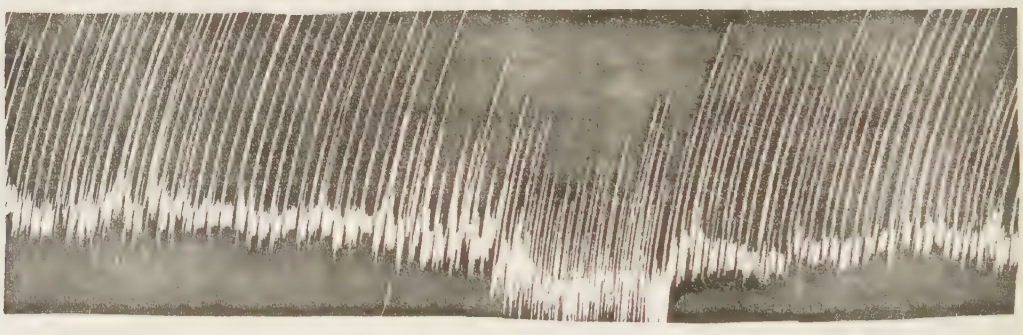


COMPRIME

Niveau mâchoire

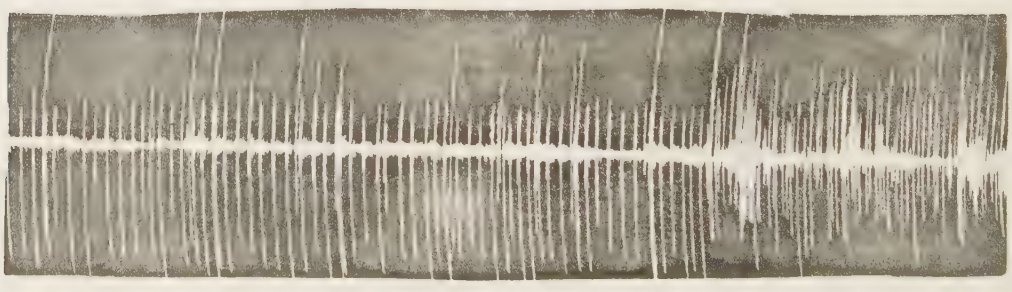


Niveau rumen

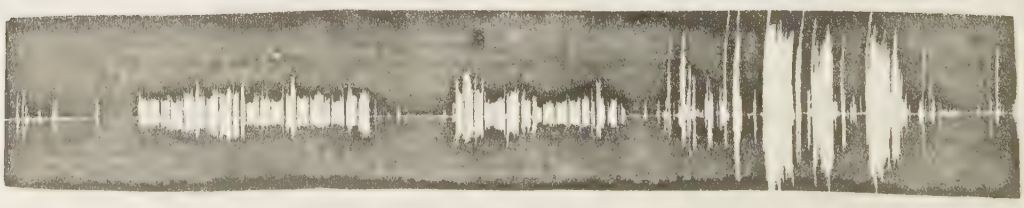


COMPACTE

Niveau rumen



Niveau mâchoire



échelle

B/ La rumination :

La rumination est une manifestation du comportement alimentaire qui constitue en quelque sorte un "relai" entre les phénomènes de l'ingestion et de la digestion. Nous avons recherché dans quelle mesure ses caractéristiques (durée totale, nombre de périodes, répartition nycthémérale) peuvent varier avec le mode de conditionnement des fourrages.

TABLEAU 6 - Caractéristiques de la rumination

Fourrage	Mode de conditionnement	Rumination		
		p.100 de 24 h.	Nombre de périodes	en mn pour 100gMSI
Trèfle violet 1er cycle	Haché	37,7 ± 2,1	15,4 ± 1,5	77mn37s±8,25
	Comprimé	29,9 ± 2,3	16 ± 1,9	40mn40s±2.23
	Compacté	18,1 ± 2,6	13,2 ± 2,1	24mn ± 3.30
Trèfle violet 2ème cycle	Haché	36,2 ± 4,5	14,0 ± 1,9	43mn08s±5.42
	Comprimé	29,2 ± 4,2	15,6 ± 1,5	33mn06s±5.10
	Compacté	17,0 ± 1,0	13,2 ± 1,8	19mn06s±2.50

Les durées de rumination par 24 heures des animaux qui ont reçu des fourrages comprimés et compactés sont plus faibles ($P < 0,01$) que celles obtenues avec les fourrages hachés. Ces valeurs sont d'autant plus faibles que le fourrage est réduit en particules de plus en plus fines en passant du fourrage comprimé à la forme compactée (tableau n° 6). La durée de rumination diminue de moitié entre le fourrage long (37 %) et le fourrage compacté (18 %).

La répartition nycthémérale de la rumination n'est pas profondement modifiée par le mode de conditionnement. La rumination nocturne représente plus de 60 % du temps total de rumination quel que soit le mode de conditionnement. Elle est en relation avec les périodes de calme puisque la rumination diurne a lieu entre 12 h. et 15 h.

.../...

Tout cela rejoint la conception classique selon laquelle les animaux ont une préférence marquée à ruminer pendant la nuit (RUCKEBUSCH, 1963).

Contrairement aux observations faites par DEMARQUILLY et JOURNET (1967), JARRIGE (1962), on observe peu d'influence du mode de conditionnement sur le nombre et la durée des périodes de rumination.

Discussion - Conclusion

Au cours de cette étude comportementale, nous avons confirmé quelques relations entre le mode de présentation des fourrages et le comportement alimentaire des ruminants :

- La durée totale de la prise de nourriture diminue avec la finesse de broyage des aliments (DEMARQUILLY, JOURNET, 1967, RUCKEBUSCH, 1963) ; par contre, le nombre de repas augmente.

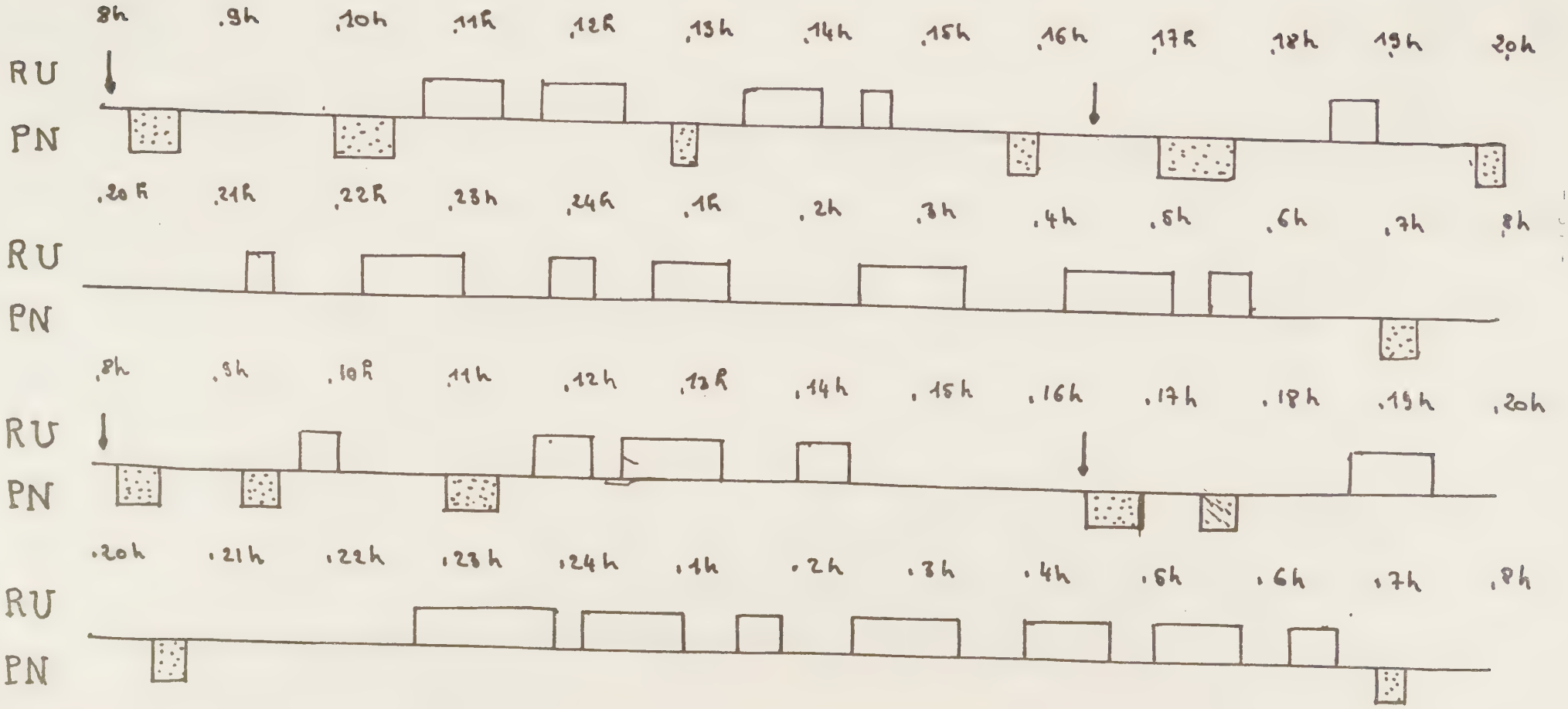
- L'augmentation de la quantité ingérée s'accompagne d'une diminution du rendement à l'ingestion (SKOURI, 1966).

- La durée totale de la rumination est fortement diminuée avec les fourrages agglomérés.

- Le nombre de périodes de rumination est peu influencé par la nature du régime alimentaire et la quantité ingérée (FREER et CAMPLING, 1965).

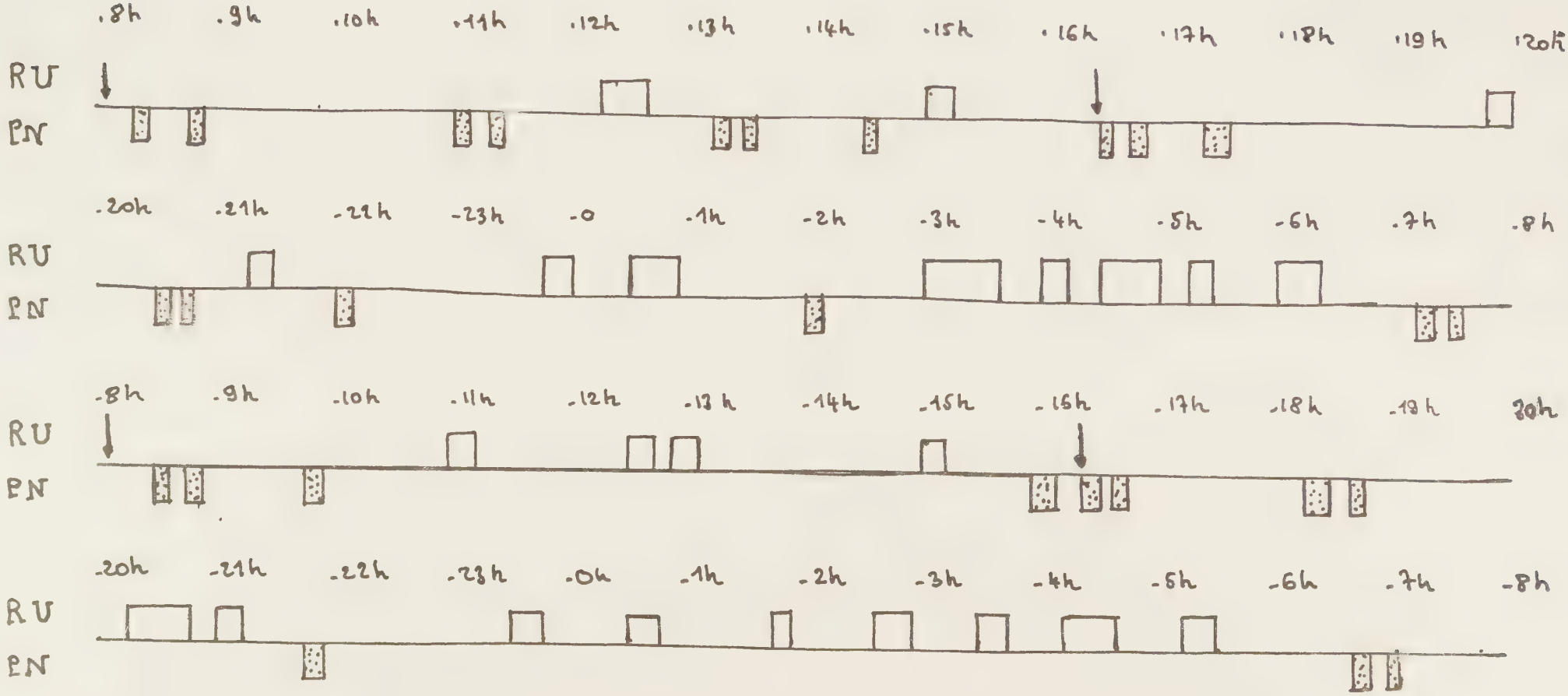
GRAPHIQUE n°: 5

REPARTITION DES DIFFERENTES PHASES DE PRISE DE NOURRITURE (PN) ET DE RUMINATION (RU) AU COURS DE 2 NYCTHEMERES : FOURRAGE HACHÉ



GRAPHIQUE no. 6 REPARTITION DES DIFFERENTES PHASES DE PRISE DE NOURRITURE (PN) ET DE RUMINATION (RU) AU COURS DE 2 NYCTHEMERES = FOURRAGE COMPRIMÉ

GRAPHIQUE n° 7 REPARTITION DES DIFFERENTES PHASES DE PRISE DE NOURRITURE (PN) ET DE RUMINATION (RU) AU COURS DE 2 NYCTHEMERES : FOURRAGE COMPACTE



CHAPITRE V - LA DIGESTION DANS LE RUMEN

Pour étudier l'action de la population microbienne du rumen dans la digestion, nous avons le choix entre l'étude bactériologique du contenu ruminal ou la mesure de ses effets : activité cellulolytique, apparition de produits terminaux caractéristiques de faciès fermentaires spécifiques.

La bactériologie du rumen étant, à l'heure actuelle, encore trop imprécise et élémentaire, nous avons retenu comme critère la mesure de l'activité de la micropopulation ruminale :

- étude "in vitro" sur les trois modes de conditionnement des fourrages expérimentaux, du pouvoir cellulolytique et du potentiel de production d'acides gras volatils des inoculums prélevés.

- détermination "in vivo" de l'activité fermentaire ; mesure du pH et dosage des acides gras volatils en fonction du moment d'échantillonnage.

A/ Etude "in vitro" :

1°) Activité cellulolytique :

Cette activité est caractérisée par le taux de dégradation des matières cellulosiques dosées par la méthode de Weende (voir tableau n° 7).

TABLEAU 7 - Activité cellulolytique mesurée in vitro exprimée en pourcentage des matières cellulosiques dégradées

mode de présentation / fourrage	haché	indice	comprimé	indice	compacté	indice
GRAMINEES						
Ray-Grass	50,0±2,9	100	48,7±3,2	97	49,9±1,5	99
Dactyle	44,1±4,3	100	56,7±2,3	128	39,8±2,5	91
Fétuque	56,8±3,4	100	48,1±4,2	85	51,8±2,2	91
LEGUMINEUSES						
Luzerne (1969)	40,8±1,4	100	43,8±0,9	107	40,8±3,4	100
Trèfle violet 1er cycle	41,7±3,2	100	38,8±3,8	94	37,9±4,5	91
Trèfle violet 2ème cycle	39,4±5,5	100	44,9±3,4	113	45,0±3,1	114

Le mode de conditionnement des fourrages n'entraîne pas de variations significatives de l'activité cellulolytique des jus de rumen Cependant pour les graminées, on observe une légère baisse de l'activité cellulolytique entre le fourrage haché et le fourrage comprimé et compacté ; cette diminution est à la limite de la signification, en particulier pour la fétuque. L'augmentation brutale de l'activité cellulolytique du fourrage comprimé de dactyle peut trouver une explication dans la granulométrie. En effet, contrairement aux autres fourrages, le pourcentage de particules supérieures à 2,50 mm est très élevé (voir courbes granulométriques). Ainsi ces particules, ne pouvant échapper à la digestion, séjournent plus longtemps dans le rumen et l'activité des bactéries cellulolytiques est plus importante.

On peut également noter que l'activité cellulolytique observée avec les graminées est plus importante que celle obtenue avec les légumineuses. Mais il nous est impossible de faire la comparaison car les temps d'incubation des jus de rumen correspondants sont différents : 48 h. pour les graminées et 24 h. pour les légumineuses (TISSERAND, ZELTER).

2°) La production d'acides gras volatils :

Sur les surnageants des contenus d'incubation centrifugés, nous dosons les acides gras volatils présents et calculons les acides gras volatils formés par la dégradation d'un gramme de matière sèche substrat, compte tenu des acides gras volatils introduits par le jus et le substrat.

a) Acides gras volatils totaux (AGV_T) :

Nous avons considéré la somme acide acétique, acide propionique, acide butyrique et avons utilisé, pour l'analyse statistique, la comparaison de moyennes (test de STUDENT).

TABLEAU 8 - Acides gras volatils totaux formés "in vitro"
(en m.moles/l)

Fourrages	haché	comprimé	compacté
LEGUMINEUSES			
Trèfle violet 1er cycle	107 ± 12 Aa	126 ± 13 a	137 ± 15 A
Trèfle violet 2e cycle	103 ± 11 A	11[illegible] ± 12	12 ± 10 A
Luzerne 1959	191 ± 17	176 ± 14	182 ± 15
GRAMINEES			
Ray-Grass	167 ± 15 a	156 ± 20 a	179 ± 16
Dactyle	148 ± 10	146 ± 15	140 ± 13
Fétuque	195 ± 23	186 ± 19	176 ± 20

Les valeurs qui portent la même lettre sont significativement différentes : lettre majuscule $P < 0,01$
lettre minuscule $P < 0,05$

La concentration du mélange des AGV_T du rumen n'a pas été modifiée par le mode de conditionnement, sauf pour le trèfle violet. En effet, pour ce fourrage, on observe une augmentation significative ($P < 0,01$) des AGV_T entre la forme hachée et la forme compactée. Cette particularité peut être attribuée au broyage plus fin de ce fourrage compacté, la taille moyenne des particules a été de l'ordre de 0,50 mm alors que, pour les autres fourrages compactés, elle est de l'ordre de 0,70 mm. Mais, outre la production totale d'acides gras volatils, il importe de connaître la nature des acides gras volatils formés (voir graphique n° 8).

b) Acide acétique (C_2) :

- en proportion :

Le mode de conditionnement a modifié la composition du mélange des AGV ; les différences observées ont principalement eu lieu entre les formes compactées, comparativement aux formes hachées (tableau n° 9).

De plus, des différences sont apparues entre légumineuses et graminées. Ainsi, pour les légumineuses, le conditionnement des fourrages a entraîné une augmentation significative ($P < 0,01$) de la proportion en C_2, alors que, pour les graminées, on note une diminution de cette proportion de C_2.

TABLEAU 9 - Pourcentage molaire d'acide acétique formé "in vitro"

Fourrages	haché	comprimé	compacté
LEGUMINEUSES			
Trèfle violet 1er cycle	AB 45,3 ± 6,0	56,0 ± 4,2 B	57,0 ± 4,4 A
Trèfle violet 2e cycle	Ac 49,7 ± 4,7	a 56,5 ± 3,5	60,4 ± 1,2 A
Luzerne (1969)	AB 58,9 ± 3,5	B 54,8 ± 1,5	57,7 ± 3,1 A
GRAMINEES			
Ray-Grass	a 50 ± 4,5	54,7 ± 3,8	a 55,4 ± 2,7
Dactyle	A 64,0 ± 1,9	a 63,3 ± 5,1	Aa 55,8 ± 5,2
Fétuque	AB 63,0 ± 2,2	A 57,8 ± 1,5	b 59,7 ± 1,9

Les valeurs qui portent la même lettre sont significativement différentes : lettre majuscule $P < 0,01$

Cette différence avec la nature du fourrage est assez surprenante. Elle pourrait être dûe à la différence de teneur en glucides membranaires et, par suite, à une différence d'activité cellulolytique entre légumineuses et graminées. Il est difficile de répondre à cette hypothèse car le temps d'incubation in vitro n'étant pas le même pour les graminées et les légumineuses, nous ne pouvons pas faire de comparaisons. Des mesures in vivo, en particulier, de pH et d'acides gras volatils, nous permettront de vérifier ces résultats :

- en quantité : les quantités d'acides gras volatils variant avec le mode de conditionnement, il est également intéressa de raisonner sur les quantités des différents acides.

TABLEAU 10 - Quantité d'acide acétique formée "in vitro"

Fourrages	haché		comprimé		compacté	
	mmoles/l	indice	mmoles/l	indice	mmoles/l	indice
LEGUMINEUSES						
Trèfle violet 1er cycle	48,4A ± ,4B	100	A 70,6 a ± 5,2	145	78,0 B ± ,1 a	161
Trèfle violet 2e cycle	51,2A ± 4,8B	100	A 65,5 a ± 4,0	127	76,1 B ± 3,0 a	148
Luzerne (1969)	112,5 A ± 6,6	100	a 114,0 ± 3,0	101	a 123,2A ± 5,6	108
GRAMINEES						
Ray-Grass	100,2 a ± 7,5	100	a 85,3 ± 10,6	85	99,2±4,8	99
Dactyle	94,7A ± 3,0	100	92,4a±7,4	98	a78,1A ± 7,3	83
Fétuque	122,8 A ± 4,3 B	100	B 107,5 C ± 2,9	88	A 95,0 C ± 3,0	78

Les valeurs qui portent la même lettre sont significativement différentes : lettre majuscule $P < 0,01$

lettre minuscule $P < 0,05$

.../...

A l'examen de ce tableau, on peut faire les mêmes remarques que précédemment, à savoir que, pour les graminées, la quantité d'acide acétique diminue en fonction du mode de conditionnement et que, pour les légumineuses, on observe le phénomène inverse, hautement significatif pour le trèfle violet.

c) Acide propionique :

- en proportion :

L'analyse statistique (tableau n° 11) du pourcentage molaire d'acide propionique formé par rapport aux acides gras volatils totaux démontre que nous retrouvons une différence entre graminées et légumineuses, même si les variations entre forme hachée et compactée sont moins nettes.

TABLEAU 11 - Pourcentage molaire d'acide propionique formé "in vitro"

Fourrages	haché	comprimé	compacté
LEGUMINEUSES			
Trèfle violet 1er cycle	31,4 ± 5,4	26,8 ± 2,8	27,8 ± 3,2
Trèfle violet 2e cycle	A 29,4 ± 3,5	B 28,5 ± 2,7	23,9 ± 1,9 AB
Luzerne (1969)	24,3 ± 2,1	25,0 ± 2,9	22,8 ± 1,5
GRAMINEES			
Ray-Grass	28,2 ± 5,1 a	31,8 ± 1,7	33,8 ± 1,5 a
Dactyle	27,1 ± 4,1	27,2 ± 2,1 a	31,4 ± 2,2 a
Fétuque	25,7 ± 3,1 A	28,1 ± 2,1	31,0 ± 1,7 A

Les valeurs qui portent la même lettre sont significativement différentes : lettre majuscule $P < 0,01$

lettre minuscule $P < 0,05$

.../...

Le conditionnement des fourrages entraîne une diminution de la proportion d'acide propionique pour les légumineuses et une augmentation pour les graminées.

Ces variations sont, bien sûr, en rapport avec les variations observées pour l'acide acétique et la même hypothèse peut être fait pour les interpréter.

- en quantité :

Des résultats du tableau n° 12, il ressort que le mode de conditionnement des fourrages entraîne peu de variations des quantités d'acide propionique pour les légumineuses et une tendance à l'augmentatio avec les formes compactées de graminées.

TABLEAU 12 - Quantité d'acide propionique formée "in vitro"

Fourrages	haché		comprimé		compacté	
	mmoles/l	indice	mmoles/l	indice	mmoles/l	indice
LEGUMINEUSES						
Trèfle violet 1ercycle	33,6 ± 6,8	100	33,7±7,5	101	38,0±4,3	110
Trèfle violet 2e cycle	30,2 ± 3,6	100	33,0±3,1	109	32,7±2,4	108
Luzerne (1969)	46,4 ± 4,0	100	43,0±5,1	92	41,4±2,8	89
GRAMINEES						
Ray-Grass	47,1A± 8,5	100	B49,6±2,6	105	A 60,5 B ± 2,6	128
Dactyle	40,1 ± 6,0	100	39,7±3,0	99	43,9±3,0	109
Fétuque	50,1 ± 6,0	100	52,2±4,0	104	54,5±3,0	108

d) Acide butyrique :

- en proportion :

Comme pour l'acide acétique et l'acide propionique, l'analyse statistique nous a permis de mettre en évidence l'influence du mode de conditionnement.

TABLEAU 13 - Pourcentage molaire d'acide butyrique formé "in vitro"

Fourrages	haché	comprimé	compacté
LEGUMINEUSES			
Trèfle violet 1er cycle	23,3 ± 3,7 AB	16,8 ± 2,9 B	14,9 ± 3,2 A
Trèfle violet 2e cycle	20,8 ± 3,3 AB	14,8 ± 2,4 A	15,6 ± 1,9 B
Luzerne (1969)	16,8 ± 3,1 AB	10,2 ± 3,2 B	9,5 ± 3,7 A
GRAMINEES			
Ray-Grass	12,8 ± 5,3	13,7 ± 6,1	10,9 ± 3,1
Dactyle	9,5 ± 2,1	10,0 ± 2,5	12,8 ± 5,2
Fétuque	13,3 ± 3,1 a	14,1 ± 2,8 a	9,3 ± 2,5 a

Ces valeurs qui portent la même lettre sont significativement différentes :
(1) lettre majuscule $P < 0,01$
(2) " minuscule $P < 0,05$

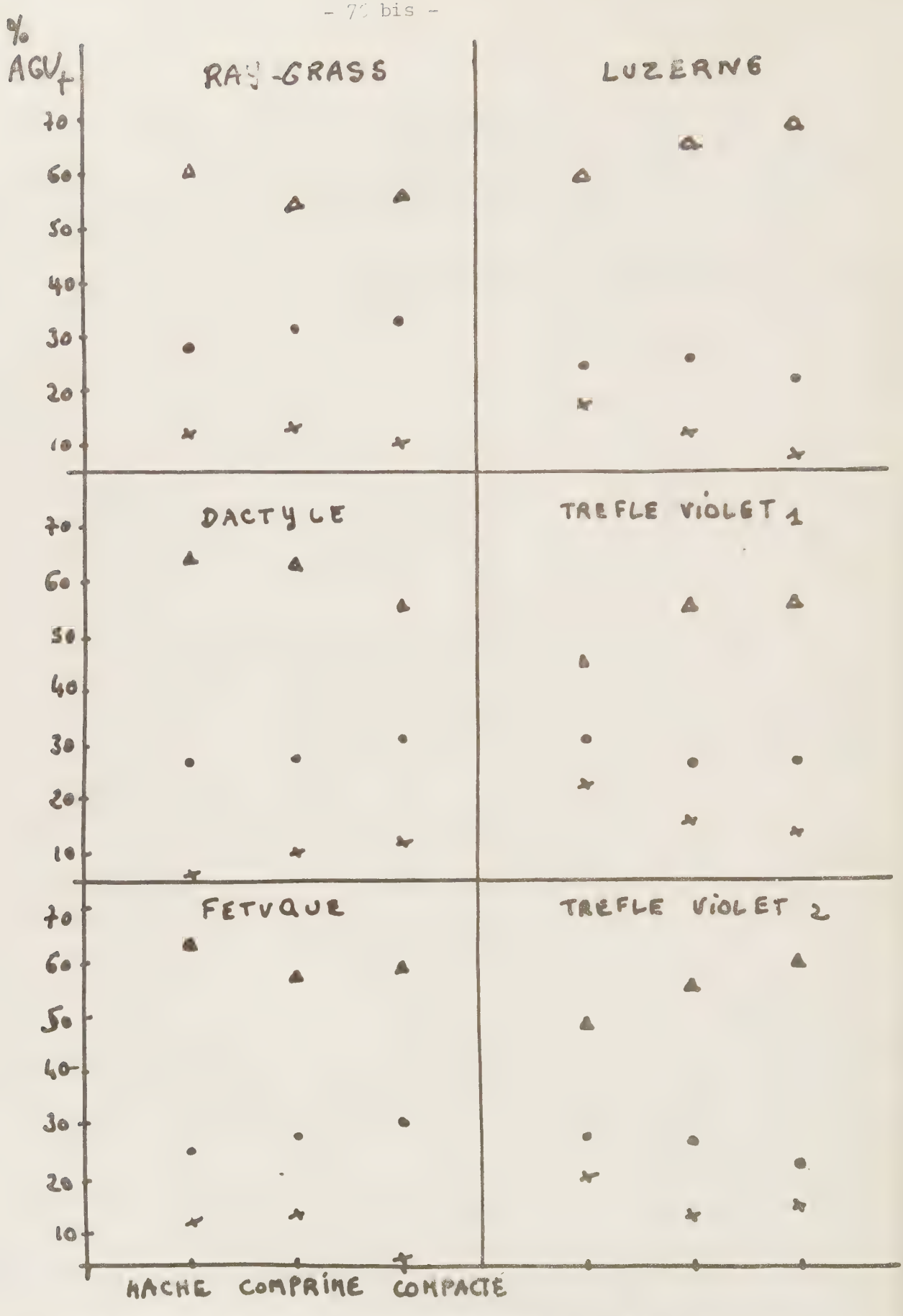
Dans l'ensemble, la proportion d'acide butyrique entre la forme hachée et la forme compactée diminue. Cette baisse est plus importante pour les légumineuses que pour les graminées mais on ne note pas de variations inverses entre ces deux espèces de fourrages comme pour l'acide acétique et l'acide propionique.

- en quantité :

Dans l'ensemble, le conditionnement des fourrages influe peu les quantités d'acide butyrique ; la différence entre légumineuses et graminées n'apparaît pas.

TABLEAU 14 - Quantité d'acide butyrique formé "in vitro"

Fourrages	haché		comprimé		compacté	
	mmoles/l	indice	mmoles/l	indice	mmoles/l	indice
LEGUMINEUSES						
Trèfle violet 1er cycle	24,9±3,9	100	21,1±3,6	85	20,4±4,2	82
Trèfle violet 2e cycle	21,4±3,3	100	17,1±2,9	80	21,4±2,3	100
Luzerne (1969)	B32,0A±5,8	100	17,9A±5,6	57	B17,2±6,7	54
GRAMINEES						
Ray-Grass	21,7±8,8	100	21,3±8,4	99	19,5±5,4	90
Dactyle	14,0±3,1	100	14,6±3,6	104	17,9±7,2	127
Fétuque	25,9A±6,0	100	B26,2±5,3	101	BA16,3±4,3	65



GRAPHIQUE N°=8 POURCENTAGE MOLAIRE D'ACIDES GRAS VOLATILS FORMÉS "IN VITRO"

△ Acide acétique • Ac. propionique
× Ac Butyrique

Discussion - Conclusion :

Le mode de conditionnement des fourrages n'entraîne pas de variations significatives de l'activité cellulolytique des jus de rumen. Ces résultats diffèrent de ceux observés par JOURNET et HODEN (1973) qui montrent une liaison étroite entre activité cellulolytique et taille moyenne des particules : plus la taille moyenne des particules est petite, plus l'activité cellulolytique diminue. La méthode de mesure "des sachets de nylon" utilisée par ces auteurs est susceptible de donner des résultats différents. L'activité cellulolytique est moins importante avec les légumineuses qu'avec les graminées car celles-ci ont un pouvoir tampon plus faible et sont plus riches en glucides solubles très fermentescibles.

La quantité d'acides gras volatils totaux est peu modifiée par le conditionnement des fourrages déshydratés.

Nos observations sont en accord avec des résultats récents de JOURNET et HODEN (1973), ARMSTRONG et al (1972) qui montrent que l'agglomération des fourrages n'entraîne pas d'augmentation significative des AGV_T comme le signalent certains auteurs (COTTYN et BOUCQUE, 1968, BEARDSLEY, 1964, MINSON, 1963).

Cependant la composition du mélange d'AGV est modifiée sous l'influence du conditionnement, contrairement aux observations de HOGAN, WESTON (1967) JOURNET et HODEN (1973)et ARMSTRONG et al (1972) mais conformément aux résultats de WRIGHT et al (1963), BOUCQUE et COTTYN (1968).

En accord avec ces derniers, nous constatons, pour les graminées, une baisse de la proportion d'acide acétique et d'acide butyrique et une augmentation de la proportion d'acide propionique. Mais, pour les légumineuses, nos résultats sont tout-à-fait différents. Le conditionnement entraîne une augmentation de la proportion d'acide acétique et une diminution de la proportion d'acide propionique et surtout d'acide butyrique. Seuls, HOGAN et WESTON (1967) avaient noté ces variations en comparant de la luzerne hachée et de la farine de luzerne. Il est également possible de rapprocher de nos résultats les expériences de HODEN et JOURNET (1973) qui, en comparant des graminées et des luzernes déshydratées comme aliment unique de la ration de vache laitière, observent une baisse du taux butyreux du lait avec les rations à base de ray-grass et pas de variations avec la ration à base de luzerne.

En effet, l'acide acétique étant un des principaux précurseurs des acides gras du lait, on peut supposer que le conditionnement de la luzerne ne modifie pas la proportion d'acide acétique. Cette différence dans les modifications de la proportion des différents acides gras volatils, observée avec la nature du fourrage, devra être vérifiée par les études in vivo. Cependant, le pouvoir tampon des espèces fourragères est variable et, en particulier, celui des légumineuses est plus important que celui des graminées. Ainsi, avec les légumineuses, le pH du jus de rumen étant plus élevé, l'activité des bactéries cellulolytiques serait plus importante, ce qui se traduirait par une augmentation de l'acide acétique et inversement avec les graminées.

Une autre hypothèse pourrait également être avancée : les légumineuses sont, en général, moins digestibles que les graminées par suite de leur degré de lignification plus important. Le conditionnement des fourrages qui entraîne un certain broyage pourrait alors, à un instant donné, rendre la cellulose plus accessible aux microorganismes, et, par suite, faciliter la formation d'acide acétique. On pourrait donc préciser qu'il existe une certaine granulométrie des fourrages qui, sans diminuer la vitesse de transit dans le rumen, faciliterait la formation d'acide acétique.

B/ Etude "in vivo" :

Le tableau n° 15 donne les résultats des produits de fermentation formés dans le rumen à partir de trois rations différentes en fonction du moment d'échantillonnage. Les chiffres qui y figurent sont la moyenne de trois périodes.

Au cours de chacune de ces périodes, les échantillons furent prélevés aux heures indiquées dans le schéma expérimental sur deux animaux par type de régime. Les résultats du tableau n° 15 sont, par conséquent, la moyenne de six données.

De même que BATH and ROOK (1963), nous avons trouvé des différences considérables entre les animaux expérimentaux. Pour ces auteurs, ces différences seraient essentiellement dûes à la vitesse différente à laquelle les aliments traversent le tube digestif.

1°) Influence sur le pH du moment d'échantillonnage :

Il ressort du tableau n° 15 que le pH diminue nettement dans le courant de la journée ; il atteint une valeur minimum 4 heures après le début du repas pour le fourrage haché et comprimé, et 3 heures après le début du repas pour le fourrage compacté et augmente ensuite (graphique n° 9).

On remarquera, d'autre part, sur le graphique n° 9, que, quel que soit le temps de prélèvement, le pH du fourrage haché est voisin de celui du fourrage comprimé mais toujours supérieur à celui du fourrage compacté.

Pour préciser l'interprétation de ces résultats, nous réalisons une étude statistique complète. Il s'agit,d'un plan factoriel à deux facteurs contrôlés avec interaction :

- un facteur A (effet temps) à six variantes (T_o avant le repas, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6 respectivement 2 h., 3 h., 4 h., 5 h., 6 h. après le début du repas) ;

- un facteur B (effet mode de conditionnement) à 3 variantes (haché, comprimé, compacté).

.../...

TABLEAU 15 - Produits de fermentation dans le rumen à partir de trois modes de conditionnement de fourrages en fonction de l'échantillonnage

Moment de l'échantillonnage	Acides gras volatils (% molaire)						Acides gras totaux mmole/l.	pH
	Acide acétique	Acide propionique	Acide isobutyrique	Acide butyrique	Acide isovalérianique	Acide valérianique		
Luzerne déshydratée hachée								
T_o	67,8	17,9	1,76	7,97	2,6	0,9	68,5	7,30
T_2 h	66,1	21,0	1,61	6,9	1,5	2,2	78,6	7,14
T_3 h	67,6	20,3	1,39	6,9	1,3	2,0	76,0	7,08
T_4 h	67,0	20,2	1,33	7,6	1,6	2,1	77,8	6,99
T_5 h	69,2	18,6	1,40	7,5	1,7	1,4	77,2	7,14
T_6 h	69,1	18,5	1,19	7,9	1,7	1,2	73,4	7,17
Luzerne déshydratée comprimée								
T_o	68,5	17,7	1,59	8,3	2,2	1,3	68,5	7,23
T_2	67,5	20,2	1,07	7,6	1,3	2,3	89,9	7,11
T_3	69,2	19,2	0,98	7,5	0,9	2,0	85,4	7,05
T_4	67,7	20,1	0,98	7,9	0,9	2,1	80,7	7,02
T_5	70,9	17,8	1,00	7,7	0,8	1,6	87,6	7,11
T_6	70,0	18,0	1,11	8,4	1,1	1,1	77,4	7,16
Luzerne déshydratée compactée								
T_o	68,0	17,7	1,65	9,0	2,1	1,4	69,0	6,97
T_2	67,1	20,0	1,28	7,7	1,5	2,2	87,4	6,81
T_3	67,8	18,9	0,90	9,3	0,7	2,1	90,3	6,78
T_4	69,1	18,9	0,91	8,0	0,8	1,9	89,3	6,81
T_5	70,7	19,3	0,90	7,9	0,7	1,4	90,5	6,90
T_6	71,1	17,3	1,11	7,9	1,1	1,0	74,5	7,00

Les résultats de l'analyse de variance avec interaction ainsi définie sont présentés dans le tableau n° 16.

TABLEAU 16 - Analyse de variance du pH

	Somme des carrés	degrés de liberté	Variance	F calculé	F table à 5%	F table à 1%
effet A	Q_A = 0,65	5	0,13	3,8xx	2,31	3,22
effet B	Q_B = 1,5	2	0,75	22,0xx	3,10	4,84
effet AB	Q_{AB} = 0,10	10	0,010	0,29	1,93	2,53
erreur	Q_E = 3,07	90	0,034			

En formant les valeurs des différents rapports F et en consultant la table de SNEDECOR pour les degrés de liberté correspondants, on constate qu'il y a un effet hautement significatif dû au temps et au mode de conditionnement.

Il n'y a, par contre, pas d'interaction significative entre temps et mode de conditionnement. Cette absence d'interaction peut signifier que les différences entre mode de conditionnement restent les mêmes lorsque les temps varient.

Une étude statistique plus détaillée par l'application du "Test de DUNCAN" à 5 % nous permet de préciser les variations des deux facteurs.

Effet conditionnement :

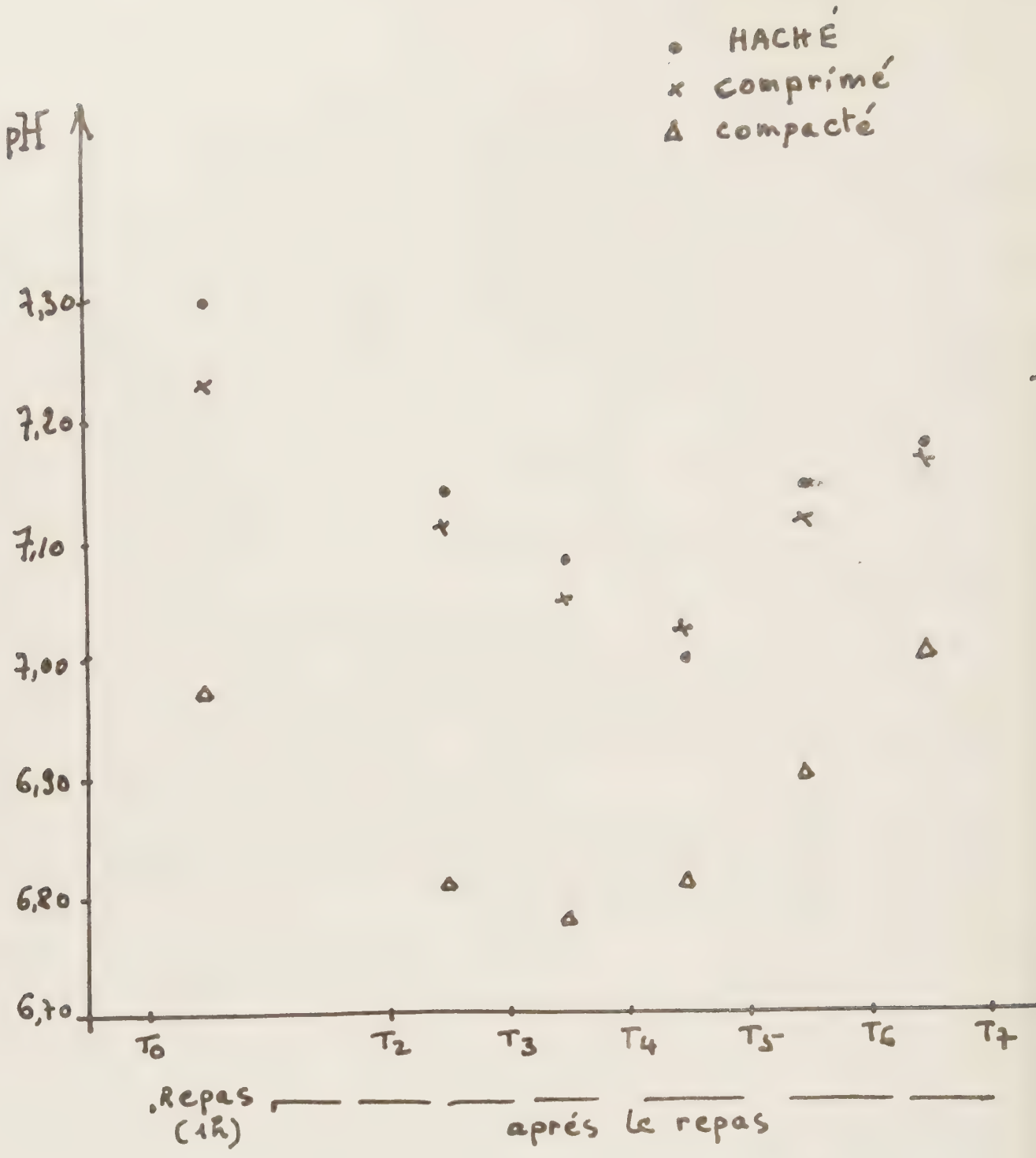
Les différences statistiques entre les valeurs de pH en fonction du mode de conditionnement figurent au tableau 17.

TABLEAU 17 - Différence statistique entre les pH en fonction du mode de conditionnement

	Haché 7,14	Comprimé 7,12	Compacté 5,88
Comprimé 7,12	NS	-	S*
Condensé 5,88	S*	S*	-

NS = non significatif

S* = significatif



GRAPHIQUE n°: 9 Évolution du pH en fonction du moment de l'échantillonnage et du mode de conditionnement.

Il apparaît qu'il y a une différence significative ($P < 0,05$) entre le haché et le compacté, le comprimé et le compacté mais pas entre le haché et le comprimé.

Effet temps :

Pour chaque forme de conditionnement, nous étudions l'évolution du pH en fonction du temps par application du test de DUNCAN. Les différences significatives ($P < 0,05$) sont représentées par un trait reliant les deux temps considérés.

Haché	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
Comprimé	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
Compacté	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6

Pour le haché et le comprimé, le pH du premier échantillon est différent ($P < 0,05$) de celui du quatrième échantillon (4 h. après le début du repas) ; pour le compacté, la différence est entre le pH du premier échantillon et celui du 3ème échantillon (3 h. après le début du repas). On note également une différence significative entre le pH 3 h. et 6 h. après le début du repas pour le compacté et 4 h. et 6 h. après le début du repas pour le comprimé ; pour le haché, cette différence entre les deux temps est à la limite de la signification.

Discussion - Conclusion :

A la suite de ces résultats, on peut constater qu'en ce qui concerne le pH, l'échantillonnage devra être pratiqué de préférence 4 h. après le début du repas pour le haché et le comprimé et 3 h. pour le compacté. Le compacté est donc digéré plus rapidement que le haché et le comprimé. Ces résultats sont en accord avec ceux de COTTYN et BOUCQUE qui observent des valeurs minimums du pH 4 h. après le repas avec du foin.

Mais si, d'après l'évolution du pH, le maximum d'activité fermentaire semble se situer entre 3 h. et 4 h. après le repas, qu'en est-t'il de l'évolution des acides gras volatils totaux ?

... ...

2°) Influence du moment de l'échantillonnage sur la quantité totale d'acides gras volatils (AGV_T) :

L'évolution de la quantité totale d'acides gras volatils est représentée sous forme de graphique (n° 10). D'une façon générale, elle augmente rapidement après le repas et présente une évolution contraire à celle du pH. La baisse rapide des AGV_T 6 heures après le début du repas traduit une résorption rapide par l'épithélium du rumen.

Pour préciser cette évolution, nous avons fait une analyse statistique identique à la précédente (tableau n°18).

TABLEAU 18 - Analyse de variance de la production totale d'acides gras volatils

	Somme des carrés	Degrés de liberté	Variance	F calculé	F tablé 5 %	F tablé 1 %
Effet A	Q_A = 41,9	5	8,38	7,61 xx	2,31	3,23
Effet B	Q_B = 11,9	2	5,95	5,40 xx	3,10	4,86
Effet AB	Q_{AB}= 7,6	10	0,76	0,69	1,93	2,52
Erreur	Q_E =101,5	90	1,11			

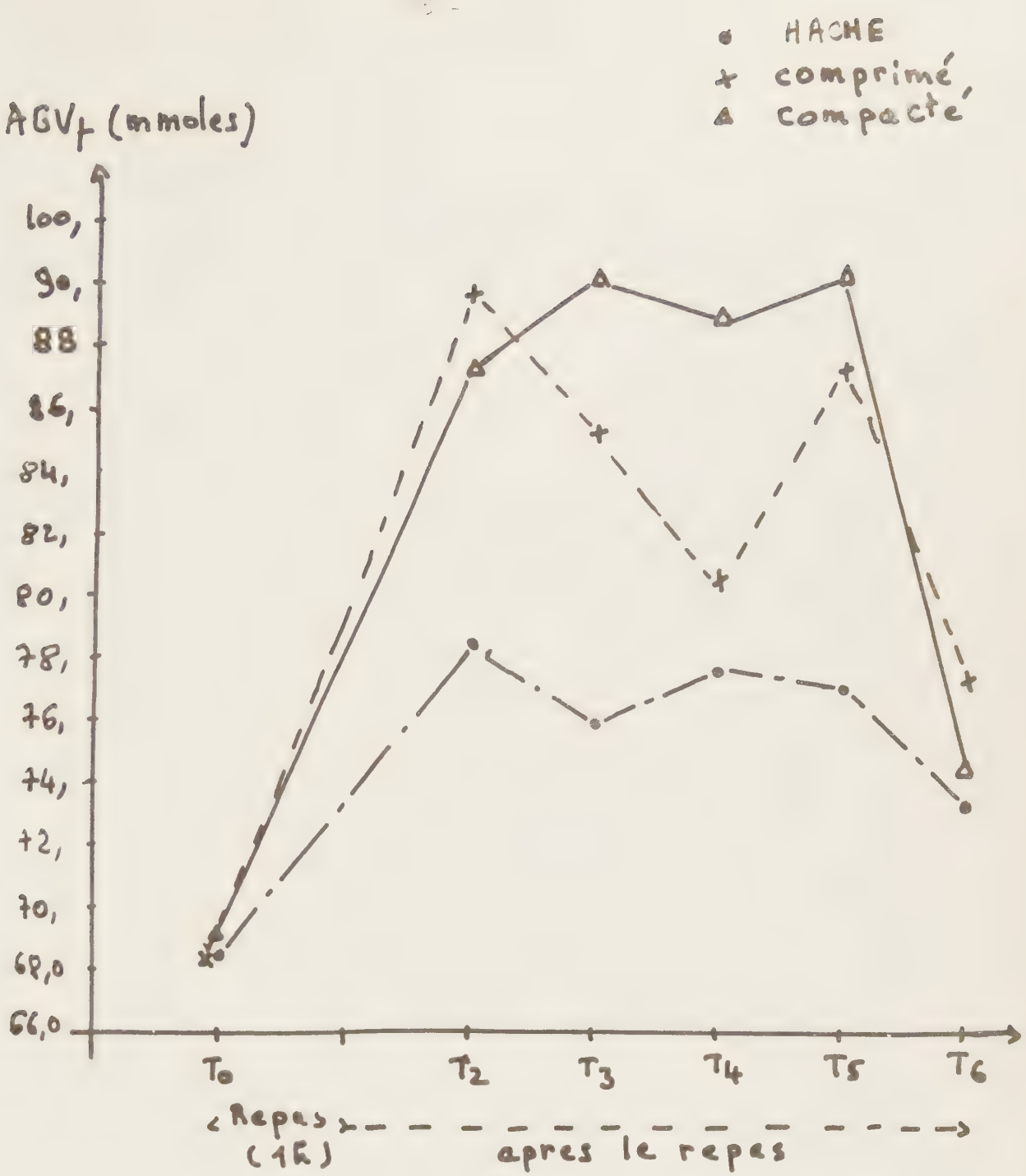
On constate qu'il y a un effet hautement significatif dû au temps et au mode de conditionnement. Par contre, l'interaction n'est pas significative

Effet mode de conditionnement :

Les différences statistiques entre les acides gras volatils totaux (AGV_T) en fonction du mode de conditionnement sont indiquées au tableau n° 19 (application du test de DUNCAN à 5 %).

TABLEAU 19 - Différence statistique entre les AGV_T en fonction du mode de présentation

	Haché 75,5	Comprimé 81,5	Compacté 83,5
Comprimé 81,5	S x	-	S x
Compacté 83,5	S x	S x	-



GRAPIQUE n°: 10 Evolution de la quantité d'acides gras volatils totaux (AGVt) en fonction du temps et du moment d'échantillonnage et du mode de conditionnement.

Il ressort de ce tableau que les différences entre les teneurs totales en acides sont significatives ($P < 0,05$) pour toutes les combinaisons possibles entre les trois modes de conditionnement. C'est avec la forme compactée que les quantités totales d'acides sont les plus importantes.

Effet temps :

L'application du test de DUNCAN nous a permis de préciser l'évolution des AGV_T pour chaque mode de conditionnement. Les différences statistiques sont soulignées pour les deux moyennes considérées ($P < 0,05$).

Haché	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
	68,5	78,6	76,0	77,8	77,2	73,4

Comprimé	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
	68,5	89,9	85,4	80,7	87,6	77,4

Compacté	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
	69,0	87,4	90,3	89,3	90,5	74,5

D'après ce schéma, deux points apparaissent :

- d'une part, il n'y a pas de différence significative entre les différents moments d'échantillonnage pour le haché, cependant il semble préférable de prélever entre 2 h. et 5 h. après le repas, temps où les AGV_T sont plus importants ;

- d'autre part, pour les fourrages comprimés et compactés, il y a des différences significatives ($P < 0,05$) entre le premier échantillon et les quatre suivants, T_6 ne différant pas de T_o.

Discussion - Conclusion :

Il semble que l'on puisse donc prélever des échantillons du rumen au cours de la période allant de 2 à 5 h. après le début du repas sans noter de différences significatives dans les concentrations en AGV_T.

STEWART et al (1958) observent dans le rumen la plus forte concentration en acides gras volatils totaux : 4 à 6 h. après le repas, alors que FENNER et al (1957) la constatent 3 à 4 h. après le repas. COTTYN et BOUCQUE observent, avec du foin long, un maximum de production d'AGV_T 4 à 5 h. après le repas et avec des pellets 2 h. après le repas.

Cependant, il est bon de signaler que les différences de concentration en acides gras volatils totaux (AGV_T), observées avec les différentes formes de conditionnement, ne rendent pas compte réellement de la production réelle d'acides gras volatils totaux. En effet, ces derniers, au fur et à mesure de leur production, sont soit absorbés et parfois métabolisés au niveau de la paroi du rumen, soit remaniés à l'intérieur du rumen, soit utilisés par les micro-organismes.

De plus, le mode de conditionnement peut entraîner des variations de volume du contenu ruminal et, par suite, la comparaison des concentrations en AGV_T devient plus délicate. En fait, de nombreux facteurs peuvent faire varier le volume : l'augmentation de quantités ingérées et de la consommation d'eau tendent à l'accroître mais, par ailleurs, le conditionnement entraîne une diminution de la salivation et une accélération du transit qui peuvent le diminuer.

Toutefois, nous avons envisagé une mesure de ce volume aux différents moments de prélèvement par la méthode du PEG (polyéthylène glycol) mais les résultats sont trop variables entre moutons et pour un même mouton pour être utilisés.

3°) Influence du moment d'échantillonnage sur les proportions relatives des différents acides gras volatils :

Le graphique n° 11 représente l'évolution dans le temps des proportions molaires des principaux acides gras volatils : acide acétique, acide propionique, acide butyrique.

L'analyse statistique des résultats a été réalisée selon le schéma décrit précédemment pour le pH et les acides gras volatils totaux.

Acide acétique :

Dans l'ensemble, la proportion molaire d'acide acétique augmente aux temps T_5 et T_6. Mais l'analyse de variance nous permet d'examiner ces variations (tableau n° 20).

TABLEAU 20

	Somme des carrés	Degrés de liberté	Variance	F calculé	F table 5 %	F table 1 %
Effet A	Q_A = 15,64	5	3,12	7,50 xx	2,31	3,23
Effet B	Q_B = 3,23	2	1, 1	3,92 x	3,10	4,20
Effet AB	Q_{AB} = 2,12	10	0,21			
Erreur	Q_E = 37,70	90	0,41	0,51	1,93	2,52

Il apparaît qu'il existe un effet hautement significatif dû au temps et un effet significatif (5 %) dû au mode de conditionnement ; l'interaction étant non significative.

effet mode de conditionnement :

L'appréciation du test de DUNCAN nous permet de représenter schématiquement les différences significatives (tableau n° 21).

TABLEAU 21

	Haché 57,9	Comprimé 58,9	Compacté 59,0
Comprimé 58,9	S x	-	NS
Condensé 59,0	S x	NS	-

La proportion molaire d'acide acétique du haché est significativement ($P < 0,05$) plus faible que celle du comprimé et du compacté mais il n'existe pas de différence entre celle du comprimé et du compacté. Ces résultats peuvent confirmer les observations faites in vitro qui montraient qu'avec les légumineuses et contrairement aux graminées, la proportion molaire d'acide acétique du haché était plus faible que celle du compacté.

effet temps :

La représentation schématique de l'application du test de DUNCAN nous montre que, d'une façon générale, la proportion molaire d'acide acétique est significativement ($P < 0,05$) plus élevée à T_5 qu'à T_2.

Haché	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
Comprimé	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
Compacté	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6

Il semble donc que le moment d'échantillonnage soit important et délicat si on veut avoir un échantillon représentatif.

Acide propionique :

On constate, d'après l'analyse de variance (tableau n° 22), qu'il n'y a qu'un effet hautement singificatif dû au temps. Le mode de conditionnement a peu d'influence sur la proportion molaire d'acide propionique.

.../...

TABLEAU [illegible] Analyse de variance de la proportion molaire d'acide propionique

	Somme des carrés	Degrés de liberté	Variance	F calculé	F table 5%	F table 1%
Effet A	Q_A = [illegible]	5	20,11	8,33xx	2,31	3,23
Effet B	Q_B = 13,9	2	6,95	2,87	3,10	[illegible]
Effet AB	Q_{AB} = 7,0	10	0,70	0,28	1,93	2,52
Erreur	Q_E = 217,9	90	2,42			

effet temps :

Contrairement à l'acide acétique, l'acide propionique augmente rapidement après le repas pour ne diminuer que 5 h. après le début du repas. Ce phénomène est très net avec le haché et avec le compacté. Seuls $T_0 - T_6$ et $T_2 - T_6$ diffèrent significativement.

Haché T_0 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6

Comprimé T_0 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6

Compacté T_0 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6

Acide butyrique :

Il existe un effet hautement significatif dû au temps et au mode de conditionnement (tableau 23).

TABLEAU 23 - Analyse de variance de la proportion molaire d'acide butyrique

	Somme des carrés	Degrés de liberté	Variance	F calculé	F table 5%	F table 1%
Effet A	Q_A = 11,2	5	2,24	3,86 xx	2,31	3,23
Effet B	Q_B = 12,4	2	6,20	10,68xx	3,10	4,86
Effet AB	Q_{AB} = 13,1	10	0,13	0,22	1,93	2,52
Erreur	Q_E = 52,5	90	0,58			

effet mode de conditionnement :

La proportion molaire d'acide butyrique du condensé est significativement plus élevée que celle du haché et du comprimé.

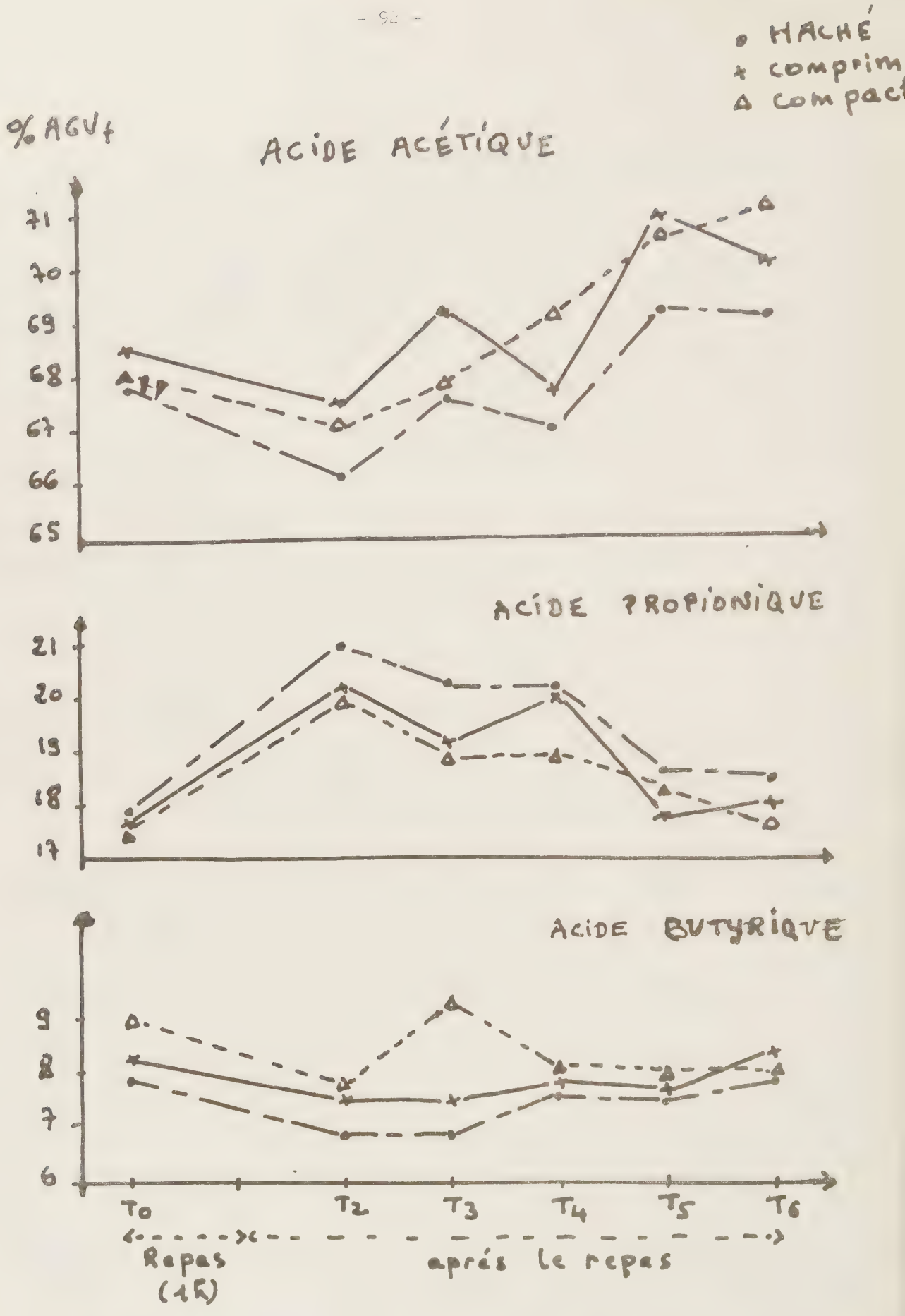
	Haché 7,5	Comprimé 7,9	Compacté 8,3
Comprimé 7,9	NS	-	NS
Condensé 8,3	Sx	NS	

Ces résultats sont en accord avec les observations faites par HODEN et JOURNET (1973) qui notent les valeurs de 10 % pour la luzerne condensée et 7,5 % pour la luzerne comprimée.

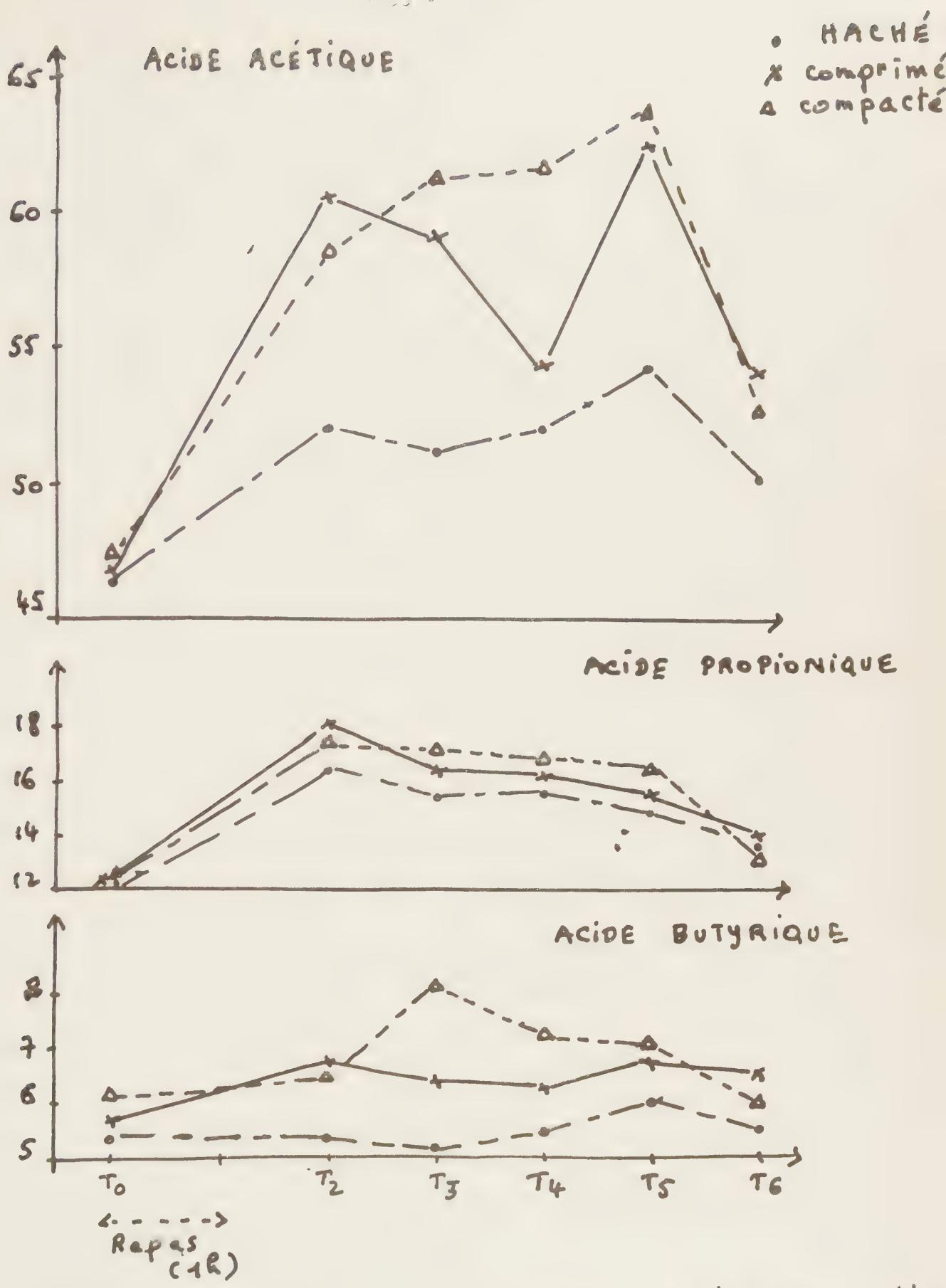
effet temps :

On observe les valeurs minimums des proportions molaires d'acide butyrique entre T_2 et T_4 pour les différents modes de conditionnement mais, pour le condensé, l'augmentation brutale à T_3 semble anormale et difficilement explicable.

Haché	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
Comprimé	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
Compacté	T_o	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6



GRAPHIQUE n°=11 Evolution des proportions molaires des différents acides gras volatil (% AGVt)



GRAPHIQUE N°=12 Evolution de la production des différents acides gras volatils (m moles)

Discussion - Conclusion :

Les conclusions que nous pouvons tirer de nos essais in vivo concernant l'influence du mode de conditionnement des fourrages sur les produits de fermentation du rumen sont les suivantes :

1°/ Le pH présente une valeur minimum 4 h. après le repas pour les fourrages haché et comprimé et 3 h. après le repas pour le fourrage compacté. Les valeurs du pH correspondant à ces temps diffèrent en général significativement des temps T_o et T_5. Mais cette différence significative n'existe plus entre les échantillons prélevés entre 2 h. et 5 h. après la fin du repas.

2°/ Le mode de conditionnement a une influence sur la valeur du pH du milieu ruminal. Le pH avec le fourrage compacté est significativement plus bas que celui avec le fourrage comprimé et avec le fourrage haché mais il n'y a pas de différence entre le pH avec le fourrage comprimé et le fourrage haché.

3°/ Les acides gras volatils totaux présentent une valeur maximum entre les temps T_2 et T_5. Ces valeurs sont significativement plus élevées avec les fourrages compactés qu'avec les fourrages comprimés et les fourrages hachés.

4°/ Les proportions molaires des différents acides gras volatils varient en fonction du temps.

La proportion d'acide acétique diminue après le repas pour remonter aux temps T_5 et T_o, par contre la proportion d'acide propionique augmente au temps T_2 pour diminuer par la suite. Ces variations sont en relation avec la baisse rapide du pH au temps T_2 par rapport au temps T_o. En effet, un pH bas favorise la formation d'acide propionique en diminuant l'activité des bactéries cellulolytiques. La proportion d'acide butyrique varie peu dans le temps. Le conditionnement des fourrages modifie la proportion des acides acétique et butyrique et non celle de l'acide propionique.

La proportion d'acide acétique et d'acide butyrique est significativement plus élevée avec le fourrage compacté qu'avec le fourrage comprimé et le fourrage haché.

R E S U M E

- C O N C L U S I O N S G E N E R A L E S -

Pour étudier l'influence du mode de conditionnement des fourrages déshydratés sur la physiologie de la digestion chez le ruminant, nous utilisons neuf moutons munis de fistule du rumen et deux familles de fourrages, des légumineuses (trèfle violet, luzerne) et des graminées (dactyle, fétuque, ray-grass).

Une étude bibliographique montre que des travaux ont surtout été réalisés avec des fourrages condensés, c'est-à-dire broyés, avant d'être agglomérés dans une presse à filières. Dans ces conditions et par rapport à un fourrage témoin haché, le conditionnement des fourrages entraîne d'importantes modifications de la valeur alimentaire:

- une diminution de la digestibilité et une augmentation des quantités ingérées,

- une diminution de la rumination entraînant des ennuis digestifs,

- une modification du faciès fermentaire ruminal se traduisant par des variations des proportions des différents produits terminaux de la digestion dans le rumen.

Devant ces inconvénients, de nouvelles formes de présentation respectant mieux la structure physique du fourrage sont apparues. Ainsi, le principal but de nos recherches personnelles est d'étudier ces nouveaux fourrages conditionnés : les fourrages comprimés et les fourrages compactés par rapport à un fourrage témoin haché.

Il ressort de ce travail que le conditionnement des fourrages sous forme compactée ou comprimée modifie la structure physique du fourrage.

Une réduction de la taille des particules est importante surtout avec la forme compactée ; la taille moyenne des particules varie de 1,84 mm à 0,73 mm pour les différents fourrages comprimés de 0,72 mm à 0,45 mm pour les fourrages compactés et de 3,25 mm à 4,05 mm pour les fourrages hachés.

.../...

- Les quantités ingérées augmentent surtout avec les fourrages compactés (20 à 40 %). L'augmentation dûe au conditionnement est plus sensible avec les graminées qu'avec les légumineuses.

- Le comportement alimentaire est perturbé. Le conditionnement des fourrages entraîne :

. une diminution du temps de consommation mais une augmentation de la fréquence des repas. Les temps de consommation pour les fourrages, haché, comprimé et compacté, sont respectivement de 10,4 %, 8,9 % et 6,4 % par nycthémère ; le nombre des repas est de 7,5, 11,1 et 13,2.

. une importante diminution du temps de rumination ; par rapport au fourrage haché (37 %/24 h.), cette baisse est de 8 % et 20 % respectivement pour le fourrage comprimé et le fourrage compacté.

- Les fermentations dans le rumen sont modifiées.

Des études "in vivo" nous permettent de confirmer que le conditionnement des fourrages modifie le pH du milieu ruminal. Le fourrage compacté entraîne une diminution significative du pH par rapport aux fourrages comprimé et haché. De plus, cette baisse est plus rapide dans le temps ; elle intervient 3 h. après le début du repas pour le fourrage compacté et 4 h. pour les fourrages comprimé et haché. Cette variation du pH est le reflet d'une activité fermentaire plus intense ; en effet, la production d'acides gras volatils totaux est significativement plus grande avec le fourrage compacté qu'avec les fourrages comprimé et haché. Les proportions d'acide acétique et d'acide butyrique sont significativement plus importantes avec le fourrage compacté qu'avec le fourrage comprimé et le fourrage haché.

Des études "in vitro" montrent que les fourrages sous forme comprimée ou compactée ne perturbent pas l'activité cellulolytique du jus de rumen ; seule une légère tendance à la baisse est à noter avec la forme compactée. L'activité cellulolytique est moins importante avec les légumineuses qu'avec les graminées car celles-ci ont un pouvoir tampon plus faible et une plus grande teneur en glucides solubles fermentescibles.

.../...

Dans l'ensemble, la production d'acides gras volatils totaux ne change pas, sauf avec les trèfles violets pour lesquels on observe une augmentation.

Les proportions et les quantités d'acides gras volatils spécifiques, acides acétique, propionique et butyrique, sont modifiées par le conditionnement et, de plus, les graminées et les légumineuses réagissent différemment.

Avec les légumineuses comprimées ou compactées, on observe une augmentation de la proportion d'acide acétique qui est surtout compensée par une baisse de la proportion d'acide butyrique. Par contre, avec les graminées comprimées ou compactées, la diminution du pourcentage d'acide acétique est compensée par une augmentation de celui de l'acide propionique.

Il semble donc possible d'alimenter des vaches laitières avec des luzernes déshydratées offertes ad libitum, sans pour autant diminuer le taux butyreux mais sous réserve de ne pas trop perturber la rumination.

En revanche, le conditionnement des graminées semble beaucoup moins bien convenir. Il provoque une déviation de l'utilisation de l'énergie avec, comme conséquence, un engraissement des animaux, ce qui le rend surtout utilisable pour la production de viande.

Il peut donc exister une possibilité de choix de l'espèce fourragère et un mode de conditionnement en fonction du type de production animale recherchée.

L'utilisation par les ruminants de fourrages déshydratés, conditionnés ou non, étant désormais mieux connue, il importe de déterminer la rentabilité de ce système de conservation techniquement très intéressant et aux possibilités multiples. Il est certain que cet outil perfectionné devra s'insérer dans des systèmes où tous les maillons seront intensifiés depuis la production fourragère à la haute technicité de l'agriculteur en passant par des animaux à haut potentiel de production.

R E F E R E N C E S B I B L I O G R A P H I Q U E S

- BATH I.H., and ROOK J.A.F., 1963 - The evaluation of cattle foods and diets in terms of the ruminal concentration of volatile fatty acids.
Brit. J. Nutrition 11, 288.

- BEARDSLEY D.W., 1964 - Symposium of forage utilisation : nutritive value of forage as affected by physical form.
J. Anim. Sci. 23, 1.

- BERANGER Cl., et JARRIGE R., 1962 - Utilisation des aliments broyés et agglomérés par les bovins.
Ann. Zoot. 11, 4, 273-94.

- BLAXTER K.L., GRAHAM N.McC., 1956 - The effect of grinding and cubing process on the utilisation of the energy and dried grass.
J. Agric. Sci. 47 : 207.

- BRYANT A.M., 1964 - Variations in the pH and volatile fatty acid concentration within the bovine reticulo-rumen.
N.Z.J. Agr. Res. 7, 694.

- CAMPLING R.C., FREER M., 1966 - Factors affecting the voluntary intake of food by cows. Experiments with ground, pelleted hay.
Br. J. Nutr. 17 263-72
Br. J. Nutr. 20 229-44

- CHALUPA N., KUTCHES A.J., LAUKER R., O'DELL G.D., 1965 - Variations in protozoa populations of pelleted fed heifers.
J. Anim. Sc. 24, 3, 876.

- COLIN P., 1968 - Utilisation par les ruminants d'aliments agglomérés.
Doc. S.E.I. n° 38.

- COTTYN B.G., BOUCQUE Ch.V., 1968 - Influence de l'agglomération en pellets de foin de ray-grass d'Italie récolté à deux stades différents de croissance sur les produits de la fermentation dans le rumen de béliers castrés.
Rev. Agr. Brussels 21, 1112, 1659 - 92

- COTTYN B.G., BOUCQUE Ch.V., 1968 - Variation de la composition du liquide du rumen en fonction du moment de l'échantillonnage.
Rev. Agr. Brussels 21, n°11-12, 1651-1667

- COTTYN B.G., BOUCQUE Ch.V., 1971 - Influence du broyage, de la finesse de mouture et de la mise en agglomérés sur la valeur lalimentaire du foin de prairie.
Rev. Agr. Brussels 24 n° 8

- CULLISON A.E., 1961 - Effect of physical form of the ration on steer performance and certain rumen phenomen.
J. Anim. Sci. 20, 478-83

- DEMARQUILLY C., JOURNET M., 1967 - Valeur alimentaire des foins condensés. Influence de la nature du foin et de la finesse de broyage sur la digestibilité et la quantité ingérée.
Ann. Zoot. 16, 2

- DEMARQUILLY C. - Tables de la valeur alimentaire des fourrages 1970.

- DOUGHERTY R.W. - Physiology of digestion in the ruminant.

- DUNCAN D.B., 1955 - Multiple range and multiple F Tests Biometrics 11

- FENNER H., DICKINSON F.N., BARNES H.D., 1967 - Relation ship of digestibility and certain rumen fluid components to level of feed intake and time of sampling after feeding.
J. Dairy Sci. 50, 334.

- GIESECKE D., and al, 1966 - Comparative studies on the digestive physiology of sheep feed on semi-purified or pelleted roughage concentrate diet.
Br. J. Nutr. 20, 2.

- HAENLEIN G.F.W., HOLDREN R.D., 1965 - Response of sheep to wafered hay having different physical characteristics.
J. Anim. Sci. 24, 3, 80-8

- HUNGATE R.E., 1966 - Rumen and its microbs.

- HYDEN S., 1956 - A turbidemitric method for the determination of higher polyethylene glycols in biological materials.
Kungl - Lantbrukshögskolans Annaler 22 - 139

- JOURNET M., DEMARQUILLY C., 1967 - Valeur alimentaire des foins condens Influence du broyage et de la mise en agglomérés sur la digestion du foin de luzerne dans le rumen.
Ann. Zoot. 16, 4

- JOURNET M., HODEN A., 1973 - Utilisation des luzernes et des graminées déshydratées comme unique fourrage de la ration des vaches laitières et étude de leur digestion dans le rumen.
Ann. Zoot. 22, 1. 37-54

- LE BARS, 1968 - Physiologie du rumen : Influence de la structure physique de la ration.
Alimentation et la vie 56 n° 1, 2, 3

- LEFFEL E.G., 1960 - Died and rumen volatil fatty and production.
Pro. Univ. Maryland Nutr. Conf. 93-5

- LONSDALE C.R., TAYLER J.C., 1969 - The effect of stage of maturity of artificially dried rye grass and method of processing on the growth of yours cattle.
Anim. Prod. 11 : 273 (Abstr.)

- MEYER J.H., WEIR W.C., DOBIE J.B., HULL J.L., 1959 - Influence of the method of preparation on the feeding value of alfalfa hay.
J. Anim. Sci. 18, 979

- MILNE J.A., CAMPLING R.C., 1970 - Effect of particle size on digestibility, retention time and voluntary intake of dried grass and lucerne juven to sheep.
Anim. Prod. 12 : 370 (Abstr.)

- MINSON D.J., 1962 - The effect of grinding, pelleting and wafering on the feeding value of roughage.
Contr. n° 84 Anim. Res. Institute Canada Dep. Agr.OTTAWA

- MOODY E.G., 1962 - Pelleted alfalfa and coastal Bumudagrass as dairy roughages.
J. Dairy Sc. 45, 384.

- MOORE L.A., 1954 - Symposium of forage utilization : General principle Involved with ruminants and effect of feeding pelleted or wafered forage to dairy cattle.
J. Anim. Sc. 23, 1

- PHILLIPSON A.T., (Editor) - Physiology of digestion in the ruminants.

- REMON B., 1972 - Alimentation des vaches laitières avec des rations à proportion variable d'aliments concentrés : production et composition du lait et digestion dans le rumen.
Ann. Zoot. 21, 4, 551-559.

- RODRIGUE C.B., ALLEN N.N., 1960 - The effect of fine grinding of hay on ration digestibility, rate of passage and fat content of m
Can. J. Anim. Sci. 40 : 28

- ROWNING M., DOBIE J.B., 1957 - Feeding wafered hay seven times per day compared to complete ad libitum feeding.
J. Dairy. Sci. 50, 3

- RUCKEBUSCH Y., MARQUET J.P., 1963 - Recherches sur le comportement alimentaire chez les bovins. Influence de la structure physique des aliments.
Rev. Med. Vet. 114, 12, 835-56

- STEWART W.E., STEWART D.G., SCHULTZ L.H., 1958 - Rates of volatile fatty acid production in the bovine rumen.
J. Anim. Sci. 17-723

- SWENSON (Editor) - Duke's Physiology of domestic animals.

- THOMSON D.J., 1972 - Physical form of the diet in relation to rumen fermentation.
Proc. Nutr. Soc. 31, 127

- THOMSON D.J., BEEVER D.E., COELOTTO DA SILVA J.F., and ARMSTRONG D.G., 1972 - The effect in sheep of physical form on the sites of digestion of a dried lucerne diet.
1/ Sites of organic matter, energy and carbohydrate digestion.
Br. J. Nutr. 28, 31

- TISSERAND J.L., ZELTER S.Z., 1965 - Essai de normalisation d'une technique de mesures de la digestion des fourrages in vitro "rumen artificiel".
A.B.A.B.B. 5, 1

- TISSERAND J.L., 1969 - A.F.Z. Tome II 22/2.

- WESTON R.H., HOGAN J.P., 1967 - The digestion of chopped and ground roughages by sheep. The movement of digesta through the stomach.
Aust. J. Agr. Res. 18, 5, 789-801

.../...

- WILKINS R.J., LONSDALE C.R., TEILOW R.M., FORREST J.J., 1972 - The voluntary intake and digestibility by cattle and sheep of dried grass wafers containing particles of different size.
Anim. Prod. 14 : 177-188

- WRIGHT P.L., POPE A.L., PHILIPPS P.H., 1963 - Effect of physical form of ration upon digestion and volatile fatty acid production in vivo and in vitro.
J. Anim. Sc. 22, 583-91

VU et PERMIS d'IMPRIMER
Le Président de l'Université,

P. FEUILLEE

DIJON, le 1er Mars 1974